

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

2014 年上半年

目录

便携式无导联动态心电系统设计	凌振宝; 焦叶军; 刘金鑫; 裴利然	1
基于 MSP430 的机车运行自控装置设计	刘涛; 苗景帅	7
基于 STC89C51 的超声波测距系统设计	刘可; 夏艳龙; 王寰祎	13
基于蓝牙的多终端通讯研究与实现	胡强; 韩明洋; 李文明	17
语音智能防追尾系统	康小猛; 石伦上	23
地下金属探测器	王赋; 张雨; 梁豪男	27
感应式空心线圈布置和组合方式的研究	张伟; 夏正阳; 康盼	31
公寓安全防盗系统的设计实现	李方威; 吴琼; 张迪	35
近红外脑功能成像系统的软件开发	徐凤贺; 吴红梦; 谢燕妮	40
多功能跑步检测仪设计	刘洋; 李昕泉; 刘昕	47
光电传感器暗电阻测量系统	许雅楠; 徐文杰; 肖武建	50
电子医生—基于视频的健康监护系统	罗佺佺; 董全睿; 张蒙	55
基于巨磁阻传感器的铁磁体探测系统设计	曹晓奇; 宇文建国; 毕明辉; 王应吉	58
具有运动干预功能的智能血糖仪	任广安; 范文长; 韩冰	63
智能电动车跷跷板自动控制系统设计与实现	万云霞; 张晓宇; 张洪飞; 胡海洋	69
TSC 型异步电机无功就地补偿装置	王世隆; 沈锋; 关乔; 崔海龙	73
震动信号采集与初步处理系统研究	孙锋; 薛宇; 高子耘; 陈章泽	78
忆阻器的动力学行为分析与模拟实现	张春; 黄一钊; 赵天辉	82
航空物探仪器回收气囊减震系统	梁少盟; 徐洁; 罗晓春	89
近红外光谱脑功能分析仪研制	刘光达; 杨宇; 黄林枫; 李玉超	93
对蓄电池智能充放电系统的研究	孙彩堂; 孙建龙; 刘慧昌; 车靖峰	100

人形机器人的自动编排动作上位机软件设计与实现	曹明明; 康利利; 胡雪岩	104
超级电容快速充放电特性研究	徐飞; 董雪峰; 吴海峰	108
基于 GPRS 的远程空气质量检测系统	田继宇; 张文君; 吕婷婷; 赵静	112
核磁共振探测范围内任意位置激发场测量装置设计	孙惠; 胡晓杰; 刘磊	116
提高夜间行车安全的全角度车灯控制系统	贾文嘉; 孙玉洪; 蒋蓉	123
家庭安全用电控制系统的研究	刘鸿文; 张林路; 李昕; 刘长英	127
微机保护遥信遥测模拟系统设计	赵一飞; 何晓恬; 李永恒	131
基于 PID 算法的旋转倒立摆系统设计	苗红松; 胡睿帆; 白杨	135
一种智能家居水灾检测报警系统的实验研究	李肃义; 王多强; 白杨; 张伟杰	139
电网对称故障时双馈感应发电机不脱网运行下的仿真分析	王玉珺; 王双伟; 樊星星	144
双馈异步风力发电转子侧 PWM 逆变器下垂控制策略研究	樊星星; 王双伟; 王玉珺	152
SVC 型静止无功补偿器的响应特性测试	李想; 崔建磊; 吕晗	159
基于 HTG 法的精密油罐测重系统模型设计与实现	孟庆超; 李继平; 左成君	167
基于 Matlab 仿真平台下异步电机故障诊断的仿真研究	孟繁超; 张航; 于通国	172
基于 FPGA 的直接数字合成信号源设计	张林行; 赵美聪; 尚小虎; 刘阳	178
基于单臂电桥测量微小电阻原理的手绘绘图板系统的设计	王子蕴; 黄维宁; 赵逸夫	181
基于单片机的可控温智能多功能安全饮水机	段清明; 彭醒醒; 杨开琦; 林洁	189
微动信号波形特征自动分析系统设计	周晓华; 王晓丹; 贾芳芳; 刘南南	194

便携式无导联动态心电系统设计*

凌振宝；焦叶军；刘金鑫；裴利然

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130061)

摘要: 为解决传统的有导联心电监测装置导联线容易缠绕, 操作步骤繁杂, 使患者活动不便, 以及信号采集之后存储不够及时等问题, 本设计组建一台实时采集存储人体心电信号的便携式无导联动态心电存储系统, 采用 ZigBee 技术实现无线传输, 以 TF 卡作为数据存储设备, 该样机具有数据采集、无线传输、文件存储等功能。具有无导联线, 心电实时存储, 远程监护等特点, 为心电信号的采集和及时存储提供了方便。

关键词: 便携, 无导联线, 实时信号存储, 心电监护, 信号分析

中图分类号: TP39 **文献标识码:** A

Wireless Dynamic Electro-Cadio-Gram Mornitring System

Ling zhen-bao ; Jiao Ye-jun; Liu Jin-xin; Pei Li-ran

(College of instrumentation and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: Since the lead wires of the traditional ECG monitoring devices inter wine with each other,it will distort the electrocardio signal ,lead to activity restriction of the patients. What's more,The electrocardiosignal can't be saved in time after collecting it and so on.We put forward the idea that using ZigBee wireless transmission technology, with the core control device based on MSP430F149 processor system and TF card for data storage devices, to assemble a real-time collection and storage of human ECG signal portable lead wires electricity storage system prototype. Wireless transmission and the file storage,and the characteristics of low power consumption,lead-free detection and remote monitoring,the prototype can provide with convenience for ECG signal acquisition and timely data storage.

Keyword: Portable No lead wire; Storage signal ; Remote monitoring ; Signal analysis.

0. 引言

目前, 心脑血管疾病在我国疾病死亡原因中列首位, 是当今影响人类健康的首要疾病^[1]。其发病率、病死率、复发率、致残率均位居第一, 成为危害人类健康的头号杀手^[2]。普通的心电检查仅能记录受检者静态时短暂的心电信号, 不能客观反映恶性心律失常和心肌缺血等, 也不能记录睡眠、运动、工作劳累或情绪波动等特定状态下的心电波形^[3], 同时导联线的限制, 使患者活动受限, 也使得手术中的监测会有很大不便^[4], 使用的检测方法大多是固定的心电监护仪器, 多为有线系统, 这些复杂的

设备和众多的连线给病人和医生都带来了许多的不便且价格昂贵, 只能进行单人的监测^[5], 因此对患者进行及时或者长期的心电监测与存储就显得尤为重要。

目前已有的心电监护系统或者由 PC 机进行心电信号存储, 或者只能由微处理器实现少量心电信号的存储, 已经很难满足心电监测的进一步发展。心电监测仪器已经向着便携化、网络化和无导联化的趋势发展, 而基于红外、蓝牙、GPRS 等无线传输技术的心电监测系统存在着无线辐射的安全性、无缝漫游和无线网络成本等问题^[6], 因此将 IEEE 802.15.4/ZigBee 无线通信标准与 TF 便携存储技术相结合就成为了解决心电检测与存储的有效途径。

*指导教师: 林振宝

项目类型: 创新项目

为此，笔者设计了基于 ZigBee 的无导线动态心电监测样机，采用模块化设计方法，选用 CC2530 无线模块构建无线心电传感网络，用以实现心电数据的无线传输，通过单片机 MSP430 对心电信号进行采集和处理并将数据存入 TF 卡，然后由 PC 机对 TF 卡中的数据进行分析和诊断。

1. 系统设计

本设计所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

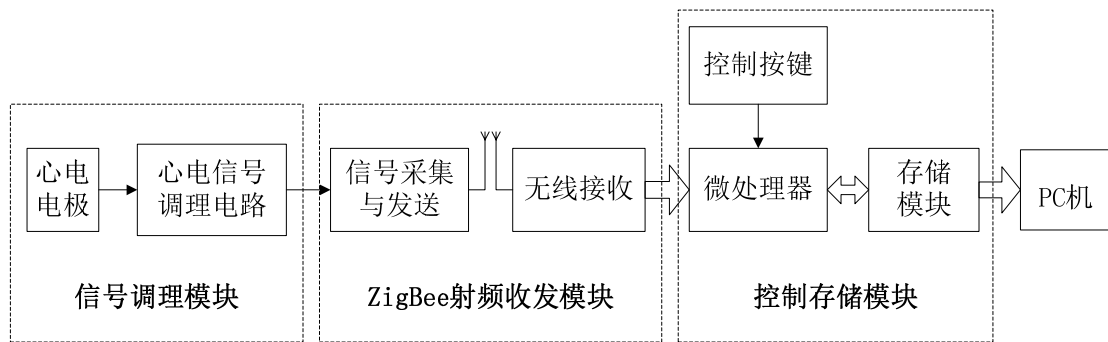


图 1 整体结构框图

Fig.1 The whole structure block diagram

念，主要包括信号调理模块、ZigBee 射频收发模块和以单片机 MSP430F149 为中心的控制存储模块三部分。其中调理模块由信号拾取电路加调理电路构成，主要负责心电信号的放大和滤波处理，射频收发模块负责将调理模块初步处理后的心电模拟信号数字化并发送到接收端，最终由 MSP430 主控制器对接收到的数据进行后期处理，同时存储到 TF 卡中。所得数据既可以直接通过主控制器上传至 PC 机，也可由 TF 卡上传至 PC 机完成心电信号的分析判断。

2. 信号调理模块设计

鉴于心电信号具有信号弱、信噪比低、幅度小等特点，因而在放大过程中微弱的心电信号极易收到外界干扰，尤其是 50Hz 的工频干扰。为了能够准确的捕捉到心电信号，本设计采用如图 2 所示信号调理电路。调理模块首先采用低功耗、低噪声、低失调电压、高精度的仪用放大器 AD620 芯片作为前级放大电路，对拾取的心电信号进行初步放大，并由增益计算公式：

$$G = \frac{49.9}{R_g} + 1 \quad (1)$$

选用 R_g 为 10 kW，得到大约 6 倍增益值，以右

腿驱动电路作为 AD620 的参考地；滤波电路由截止频率为 0.3Hz 的高通滤波器，截止频率为 130Hz 的低通滤波器和中心频率为 50Hz 的陷波器共同构成；后级放大选用低噪声、非斩波稳零运放芯片 OP07 将滤波后的信号放大 50 倍，最后经过加法器将信号调理至 0-3.3V 范围内，以满足 ZigBee 的 A/D 转换

要求。

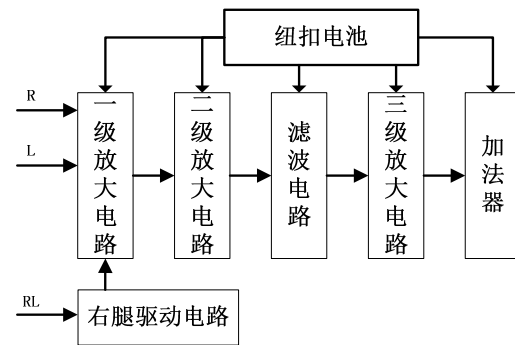


图 2 信号调理原理图

Fig.2 Acquisition module principle diagram

3. ZigBee 射频收发模块

3.1. ZigBee 技术简介

ZigBee 技术是一种小范围信息无线传输系统，有很高的抗干扰能力^[10]，它是一种短距离、低速率、低成本、低功耗的无线网络技术^[12]。作为新一代 SOC 芯片 CC2530 片上系统，ZigBee 支持 IEEE802.15.4 标准，它结合了一个完全集成的，高性能的 RF 收发器与一个 8051 微处理器，还集成了 8KB 的

RAM, 128KB 的可编程闪存及 14 位模数转换器 (A/D) 等, 满足系统高集成度、低功耗的要求。

3.2. ZigBee 模块

ZigBee 无线模块由发送端与接收端组成, 主要实现心电信号的模/数转换, 信号发送接收与数据初步处理, 数据由接收端通过串行通讯发送至 MSP430 单片机。

ZigBee 模块结构电路如图 3 所示, ZigBee 发送模块首先担任了数据的数/模转换任务, 因此使用 ZigBee 芯片内部 14 位 A/D 模块, 将 P0.7 作为心电模拟信号输入端口, 设置参考电压为 3.3V, 将时钟进行 DIV=128 分频, 采用 00-FF 自动重装模式计数中断, 设置两次中断进行一次 A/D 采集。

采样周期 T_s :

$$T_s = 2 \cdot 256 \cdot DIV \cdot \frac{1}{f_{osc}} \quad (2)$$

其中 DIV 为时钟分频次数, f_{osc} 为定时器 T3 的时钟

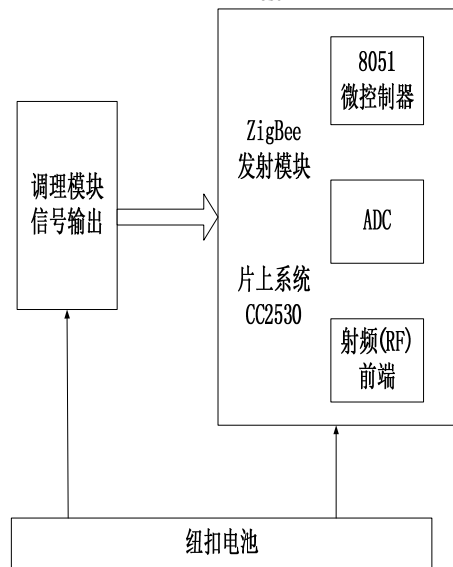


图 3 ZigBee 模块结构原理图

Fig.3 ZigBee Schematic Diagram

频率, 计算得采样周期 $T_s=2ms$, 即采样率为 500Hz。每一次转换结果为 14 位数据, 其中仅有 12 位有效数据。分别存在两个字节中。每 15 次转换结果打包一次通过无线网络发往接收端, 采集发送程序流程图如图 4 所示。

ZigBee 接收端接收到数据之后并不是马上由串口发送到微处理器, 而是经过了数据的标度变换, 由二进制数据转换为心电电压信号值, 并且放大 100 倍作为整数发送到微处理器。

转换公式:

$$ECGV = adc \cdot \frac{3.3}{2^{14}} \cdot 100 \quad (3)$$

式中 ECGV 为转换后的单字节心电信号, adc 为 A/D 转换值, 转换后的信号打包发送到微处理器, ZigBee 模块结构图及采集发送流程图分别如图 3、图 4 所示。

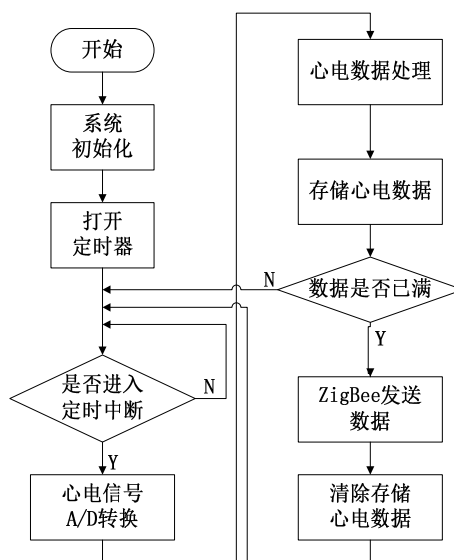


图 4 采集发送流程图

Fig.4 acquisition and send flow

4. 控制存储模块

4.1. 数据接收与处理

数据由 ZigBee 接收端接收后, 由主控制器进行

数据分析处理并存入 TF 卡中, 鉴于存入 TF 卡的数据需要在上位机中进行查阅、分析, 所以需要主控制器在 TF 卡上产生 Windows 支持的 FAT16 文件系统。数据接收存储流程图如图 5 所示。

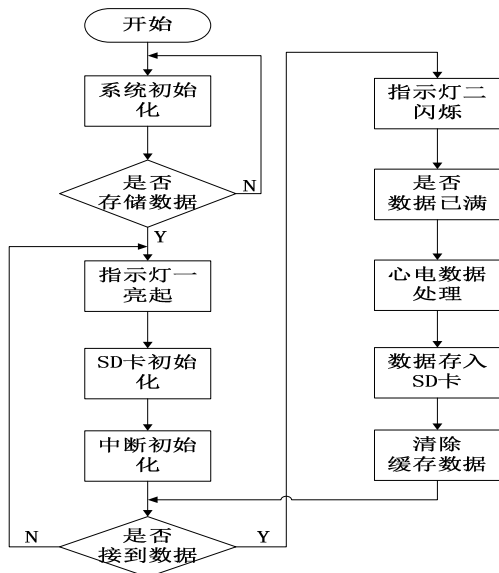


图 5 数据接收存储流程图

Fig5 receive and storage flow diagram

4.2. 数据动态存储

采集信号是以 500Hz 的采样率经 ZigBee 内部 A/D 将模拟心电信号转换成数字信号，每个采样点八位占用一个字节的存储空间，那么进行一天的连续记录所用的空间为：

$$500 \text{ (B/s)} * 3600 \text{ (s/h)} * 24 \text{ (h)} = 42187.5 \text{ (kB)} = 41.2 \text{ (MB)} \quad (4)$$

当 TF 卡上产生 Windows 支持 FAT16 文件系统 TXT 文档记录数据时，每 512 字节的数据建立的文件所占的空间大小为 2KB。则一天的连续记录所用的 TF 卡的空间为：

$$500 \text{ (B/s)} * 600 \text{ (s/h)} * 24 \text{ (h)} * 2 \text{ (kB)} / 512 \text{ (B)} = 16875 \text{ (kB)} = 164.79 \text{ (MB)} \quad (5)$$

本设计使用 2G 的 TF 卡作为存储介质，可实现长达 12 天的心电数据的采集和回放。克服了传统心电图机的记录时间只是 24 小时或者 48 小时以内的不足，实现了对心电信号的长时间动态存储的要求。

4.3. 实时采集与存储的实现

整体系统包括三个模块的通信过程，只有数据处理及通信过程协调工作，才可以实现数据的实时存储和无丢失。因此三个模块的通信波特率至关重要。

信号采样率为 500Hz，即每 2ms 采样一次，我们采用每 512 组数据打包发送一次，而 ZigBee 的基本传输速率为 250kbps，所以在 2ms 的时间内完全可以将数据传输完成，因此 ZigBee 数据采集发送模块能够实现数据的实时采集及发送。ZigBee 数据采集发送模块大约每 1024ms 发送数据一次，因此只要

ZigBee 数据接收模块在 1024ms 内完成数据处理与数据再发送，则两者不会出现数据的丢失。ZigBee 数据接收模块主控芯片为 8051，其晶振为 12MHz，经验证以上过程完全可以在 1024ms 内完成。

数据存储模块 MSP430 单片机通过硬件 USART 与 ZigBee 数据接收模块以 57600 波特率实现异步串行通信，采用中断方式接收心电数据。然后通过 USART 模块在 SPI 同步通信模式下与 TF 卡进行通信，将数据存入 TF 卡。MSP430 将主系统时钟 MCLK 和子系统时钟 SMCLK 启用外接 8M 高速晶体振荡器，即程序中执行一条指令的时间为 125ns。由于同步通信 SPI 模式最小的分频因子为 2，所以 SPI 模式下选用子系统时钟 SMCLK，经最小分频后获得最大波特率 4MHz。

单片机 MSP430 设置中断每接收 512 字节的数据时，将其存入 TF 卡中。由于在 TF 卡上产生 Windows 支持的 FAT16 文件系统，所以 512 字节的数据经转化后存到 TF 卡中实际为 1536 字节。接收 512 字节的理论时间为 145ms，而将 1536 字节存入 TF 卡中理论只需 5ms。但是在创建 FAT16 文件系统是会消耗一定的时间，因此设置两个缓存 Buffer1 和 Buffer2。首先经过 512 次中断接收数据后，Buffer1 中的数据存满，这时将 Buffer1 中的数据赋给 Buffer2，然后将 Buffer2 中的数据存入到 TF 卡中，而 Buffer1 继续在从中断中接收数据。所以只要在 Buffer1 存满之前将 Buffer2 中的数据以 FAT16 文件系统存到 TF 卡中则不会发生数据丢失。实际证明在 Buffer1 存满之前 Buffer2 数据完全可以存到 SD 卡中。通过理论计算完全能够实现实时存储并且实现数据的零丢失，在实际中也得到了验证。

通过以上的一系列措施实现了心电数据采集、数据传输以及数据存储的无丢失性与实时性。

5. 软件设计及测试结果

5.1. 上位机软件设计

本系统上位机软件是系统的应用核心，它对患者的心电数据进行显示、分析与存储，方便医护人员对患者的病情进行分析及康复指导^[3]，上位机通过 matlab 程序编写的软件对 TF 卡中的心电数据进行分析并显示心电波形，同时对心电波形进行一定自动分析，显示界面如图 6 所示。

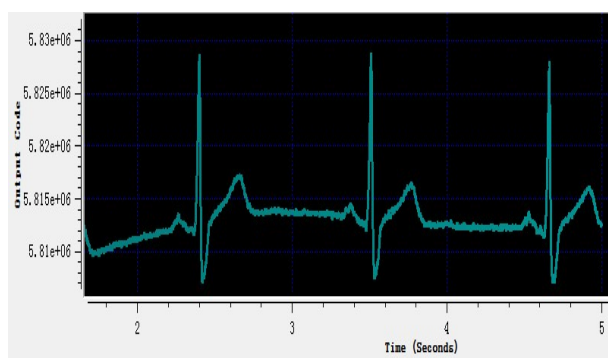


图 6 上位机心电图信号显示
Fig.6 ECG signal display in principal

5. 2. 传输距离

由于无导联心电图消除了导联的束缚，患者佩戴后可以自由移动，因此实验测试了样机发送端与接收端在不同状态下的传输距离，测试结果如表 1 所示，表中室外障碍物的传输距离为发送与接收端的直线距离，室内的障碍物选择在不同的房间，测量可以传输的最大距离。由于不同障碍物导致的传输效果有所差异，因此测试结果是在不同种类障碍物下测试传输的最大距离的平均值。

表 1 无导联动态心电图系统传输距离测试

	有障碍物时最大传输距离	无障碍物时最大传输距离
室外	50m	80m
室内	30m	50m

由于系统主要应用于医院患者监护，或者家庭成员动态心电图监测，因此本系统能够满足用户所在环境中活动范围的需求。

6. 结语

笔者设计的无导联心电图监测系统具有成本低，模块集成化，方便携带等特点，样机主要通过信号调理模块和 ZigBee 模块得到数字化的心电信号，然后发送到主控节点，将数据以 TXT 文件形式存储，已存储的数据可以通过 PC 机软件进行分析。为便携式无导联心电图监测仪的产品化奠定了基础。但是测试结果显示，样机的工作时长达不到理想状态。所以计划从软件程序方面进行精简，以降低功耗。

参考文献

1. 苏琼华，王豫辉，从心脑血管疾病患者中西药

联用的合理性谈医院药学服务[J]，中国药房，2009，19(5): 394-395.

Su Qiong-hua , Wang Yu-hui , Hospital Pharmaceutical Care Viewed from Perspective of Rational Combination of Chinese Patent Drugs With Western Medicine for Patients with Cardiovascular and Cerebrovascular Diseases[J], China Pharmacy, 2009, 19(5): 394-395.

- 臧益民，樊荣，加强多学科协作，争取心血管病研究取得新进展[J]，心脏杂志，2006，18(5)
- Zang Yi-ming, Fan Rong, Annihilation of the first health-killer(cardiovascular diseases) in cooperation with multi-branches of science[J], Chinese Heart Journal, 2006, 18(5)
- 万里，张跃，张龙飞，远程无线心电监护仪的心电数据处理机制[J]，计算机工程，2010，36(15): 291-293.

Wang Li, Zhang Yue, Zhang Long-fei, ECG Data Processing Mechanism of Remote Wireless ECG Monitor[J], Computer Engineering, 2010, 36(15): 291-293.

- 王智洁，和卫星，吕继东，便携式无线心电图采集装置的研究与实现[J]，2010，36(11): 95-101.
- Wang Zhi-jie, Her Wei-xing, Lv Ji-dong, The research and implementation of portable wireless ECG acquisition device[J], 2010, 36(11): 95-101.
- 王青，吴小培，基于 ZigBee 的无线网络的心电监测系统的设计与实现[J]，工业控制计算机，2011，24(4): 18-20.

Wang Qing, Wu Xiao-pei, ECG Monitoring System Based on ZigBee Wireless Network[J], Industrial control computer, 2011, 24(4): 18-20.

- 续岭岭，杨景常，郝明刚，基于 zigBee 网络的社区心电监护系统[C]，2012，31(2): 16-21.
- Xu Ling-ling, Yang Jing-chang, Hao Ming-gang, Community ECG monitoring system based on ZigBee network[C], 2012, 31(2): 16-21.

7. 孙欣, zigbee 自组网技术在第三方物流智能仓储中的应用[J], 2012, 35 (14): 8-10.
Sun Xin, Application of ZigBee technology in 3PL intelligence warehouse[J], 2012, 35 (14): 8-10.
8. 李肃义, 张红晶, 陆霞, 等, 基于 ZigBee 的无导联动态心电图监测系统的设计[J], 吉林大学学报, 2012, 30 (5): 450-455.
Li Su-yi, Zhang Hong-jing, Lu xia, et al, Wireless Dynamic ECG Monitoring System Based on ZigBee Technology[J], Journal of Jilin University, 2012, 30 (5): 450-455.
9. Analog Devices, op07 datasheet[Z], 2003.
10. 金海龙, 汤立志, 杜君, 基于 Zigbee 技术的心电监测仪[C], 中国仪器仪表学会第九届青年学术会议论文集, 2007: 730-733.
Jin Hai-long, Tang Li-zhi, Du Jun, ECG detecting system based on zigbee technology[C], The Ninth Youth Conference of China Instrument and Control Society, 2007: 730-733.
11. 高蔚兰, Zigbee: 新一代无线网络的综述[C], 硅谷, 2010: 18-21.
Gao Wei-lan, Zigbee: Review of a new generation of wireless networks[C], Silicon valley, 2010: 18-21.
12. 李晓梅, 刘士龙, 刘伟, 无线医疗设备的应用及安全[J], 工业控制计算机, 2011, 26 (1): 64-66.
Li Xiao-mei, Liu Shi-long, Liu Wei, Application Safety of Wireless Medical Equipment[J], Industrial control computer, 2011, 26(1): 64-66.

基于 MSP430 的机车运行自控装置设计*

刘涛；苗景帅

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130002)

摘要: 为了提高机车运行的品质, 减少人为不利因素对客运机车的影响, 我们通过应用自动控制理论结合传感器技术, 设计了以 MSP430F149 单片机为核心处理器的机车运行自动控制装置。该装置由微处理器模块、颜色识别模块、障碍物检测模块、语音报站模块和电机驱动模块组成。各模块的协调运作可提高机车运行的安全性, 同时避免事故的发生。

关键词: 机车运行 自动控制 传感器技术 MSP430 单片机

中图分类号: TP23 **文献标识码:** A

Design of Locomotive Control Device

Liu Tao; Miao Jing-shuai

(College of instrumentation and electrical engineering, Jilin University, Changchun 13002)

Abstract: In order to improve the running of locomotives, reducing the impact of human factors on passenger locomotives, we through the application of automatic control theory to combine sensor technology and design with MSP430 chip as the core processor of locomotive running automatic control device. The device consists of a microprocessor module, color recognition module, obstacle detection module, voice-announce module and motor driver module. The modules by means of a coordinated operation to increase locomotive running safety and to avoid accidents from occurring.

Key words: Locomotives Automatic control Sensor technology MSP430 chip

0 引言

随着我国国民经济的蓬勃发展和人民水平的日益提高, 铁路的客、货运量将越来越大^[1]。机车的运行经历了手动控制, 自动化控制加人工操作的运行方式, 其中后一种方式是现在普遍采用的一种较为安全可靠地操作运行方式。采用这种半自动化的控制运行方式, 由于加入了人为的干扰因素, 使得机车运行的安全状态受到了一定程度的威胁。铁路运输中一半左右的重大颠覆事故均由司机冒进信号造成的^[2]。为减少事故发生, 降低铁路事故发生率, 无人列车运行控制系统与智能化的诊断及维修系统的研究^[3]成为目前及未来一段时间里, 铁路运输自动化技术所面临的主要挑战之一。在设计机车自

动控制运行装置中运用传感器技术判断机车的运行状态并且加入列车常见紧急情况(障碍物检测)的应对措施, 使得列车在运行过程中更加安全、可靠。

1 设计思路

所设计的装置是通过运用传感器技术结合自动控制理论, 电机驱动技术能够识别常见机车运行所需信号, 并作出相应机动措施的实验装置。在设计中着重考虑地面系统信号, 信号灯信号的拾取, 站台报站语音提示, 障碍物检测与电机驱动方面的研究, 采用模块化的研究方法, 将上述问题划分为微处理器, 地面系统模块, 颜色识别模块, 语音模块, 障碍物检测模块与电机驱动模块。其中微处理器模块对来自各个模块的信号进行分析处理, 作出相

*指导教师: 王言章

项目类型: 创新项目

应的应激措施,以实现模型机车运行的全程自动化。

2 系统硬件电路设计

笔者设计的装置主要由 6 个部分组成:地面系统模块、颜色识别模块、微处理器模块、语音模块、障碍物检测模块、电机驱动模块。地面系统模块是对机车运行的所需的地面信号进行设计的必要组成部分,主要包括站点信息,信号灯设置,语音提示等方面;颜色识别模块主要由 TCS230 颜色传感器完成对三色(红、黄、绿)信号灯的颜色信号拾取工作;语音模块应用于客运机车内部提醒乘客站点下车等必要的提示信息;障碍物检测模块探测列车前方是否有危险性较大的障碍物,突出表现系统对突发危险事项应激反应能力;电机驱动模块作为系统的动力部分;此外液晶显示屏部分用作对机车运行状态的考量和测试部分。其工作原理:设计模型机车在早 5:30 准时由信号灯唤醒,在信号灯的指引下运行,如遇障碍物进行处理分析,判断障碍物的威胁程度予以作出相应应激措施,可实

现往返运作,晚 9:30 结束运作,进站检修。其硬件系统框图组成如图 1 所示:

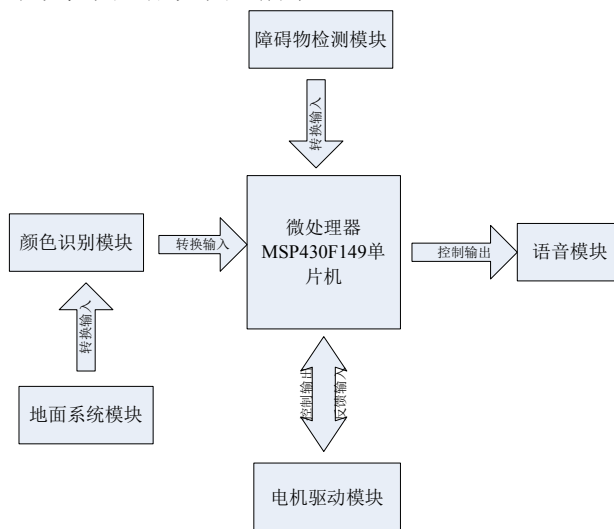


图 1 硬件系统框图

Fig.1 The hardware system block diagram

据此硬件系统框图,研究各个模块的功能选取需要的元器件,可得到下图 2 所示的硬件电路图。

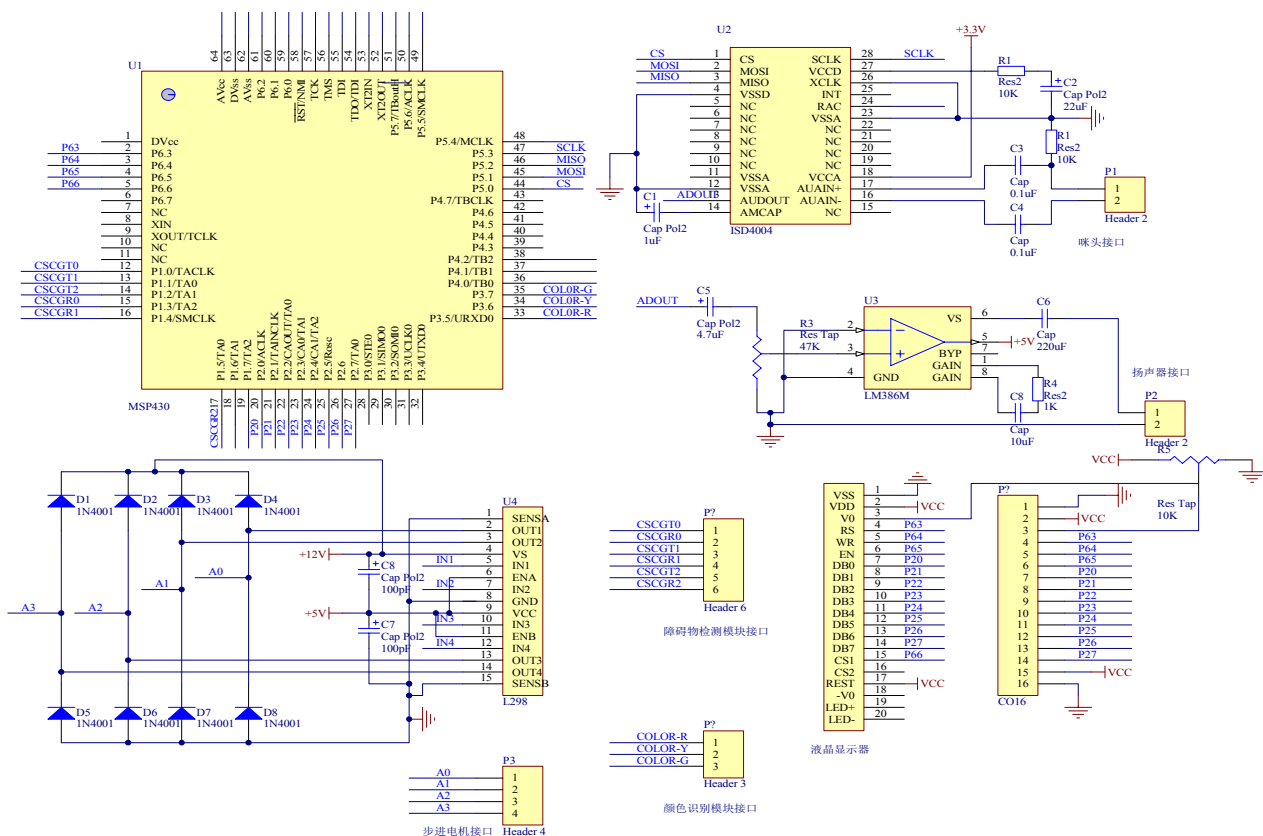


图 2 硬件电路图

Fig.2 Hardware circuit diagram

2.1 障碍物检测模块

该模块传感器采用 HR-SR04 超声波集成模块，其是将超声波发射探头、超声波接收探头、CX20106A 芯片电路和 74LS04 芯片放大电路集成到一起的模块。模块工作电压为 5V，静态工作电流小于 2mA，工作时稳定性较高，测距范围为 2cm-5m，精确度可达到 0.3cm，盲区仅为 2cm，满足设计的测量要求。在实际操作过程中设计 50cm 范围内触发应激中断，停车排碍，并采用多个超声波收发一体机，合理安排传感器的位置进行对前方目标的探测，可模糊确定目标障碍物的大小，以确定应激反应的模式规避危险的发生。在安排传感器的位置上采用上中下倒三角的模式。利用正三角形的稳定性和对称性设计的支架，安装传感器后可以兼顾车头正对的上中下三个位置，使得对障碍物威胁性存在与否的判断更加可靠。如图 3 所示，其中图形所在底面为车头正视图。

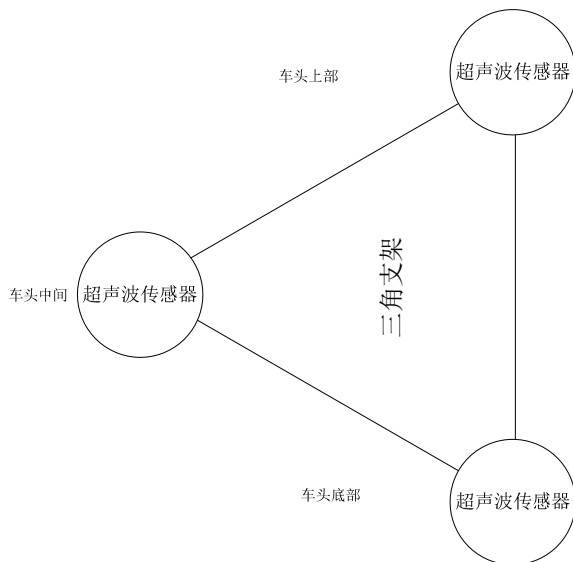


图 3 障碍物检测模块传感器位置图

Fig.3 Location of obstacle detection sensor module

2.2 颜色识别模块

该模块采用美国 TAOS (Texas Advanced Optoelectronic Solutions) 公司推出的一种可编程彩色光到频率的转换器 TCS230。该传感器具有分辨率高、可编程的颜色选择与输出定标、单电源供电等特点；可将颜色信息直接转换为频率信号，与单片机直接相连，精确测定物体的颜色，并且不受环境光的影响，具有良好的抗干扰性和测量精度^[5-7]。由于 TCS230 传感器在采集红蓝绿 (RGB) 频率值时对红色、蓝色、绿色三基色光的敏感性不同导致测得的 RGB 的频率值不准确^[8]，因此在测试前需要

进行白平衡调整，调整后其在密封和自然光条件下都具有准确的颜色识别性能和良好的抗干扰性^[9]，满足设计要求。在实验过程中编写识别红、黄、绿颜色的程序就可以输出转换后的频率，比较红、黄、绿波段频率大小就可以确定输入量为什么颜色的信号。该方法电路简单，程序实用。由于用到集成的 TCS230 传感器模块，其可与处理器直接相连，故硬件电路非常简单。

2.3 地面系统模块

该模块为独立于装置设计，单独存在的辅助模块。该模块提供信号灯信号，到站时间提示，当前时间提示，定时开启、关闭系统等信息，是机车的正常运行提供必要条件。在该模块中设计轨道模型长 $S=5\text{m}$ ，站点共 5 个，除始发站和终点站以外，中间设有三个站点，站点与站点间非等距离摆放，轨道中设有一个弧度 4.8rad 的弧形弯道，其弧长 $L=0.24\text{m}$ ，弯道倾角度为 0.061rad ，经测算得到机车在此处运行时需限制速度 $v_1=3\text{cm/s}$ 。同时考虑站点停靠时间设定为 20 秒，正常运行部分平均速度设为 $v_2=5\text{cm/s}$ 。

2.4 语音模块

设计中语音模块是列车与乘客交流的一个媒介，通过该模块的运作，运用通俗易懂的语音提示可以有效的提醒乘客上下车，注意车厢卫生等。该模块采用 ISD4004 语音芯片，该芯片是由美国 ISD 公司制造，具有录放时间长，反复录音可达 10 万次，拥有高质量、自然的语音还原技术等优点。由于在总体测试前需要对语音进行录入操作，故可设计如图所示电路

2.5 电机驱动模块

电机驱动模块作为整体的动力部分，其工作状态直接影响运行的质量。设计中对稳定性的要求比较高。电机的控制驱动有两种方式：开环控制系统和闭环控制系统。开环控制系统在工作过程中受外界干扰影响较大，不利于机车的稳定运行，闭环控制系统可以有效的解决上述问题。采用闭环控制系统进行操作时选取增量式 PID 控制器算法^[10-11]可以有效的避免外界干扰的影响。增量式 PID 控制器数学表达式为：

$$\begin{aligned} Du(k) &= u(k) - u(k-1) = K_p + [e(k) - e(k-1)] + \\ &K_p \frac{T}{T_i} e(k) + K_p \frac{T_d}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \\ &= K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \\ &= (K_p + K_i + K_d) e(k) - (K_p + 2K_d) e(k-1) + K_d e(k-2) \end{aligned}$$

$$= me(k) + ne(k - 1) + re(k)$$

其中 $m = (K_p + K_i + K_d)$, $n = (K_p + 2K_d)$, $r = K_p$,

$K_i = \frac{K_p T}{T_i}$ 为积分系数, $K_d = \frac{K_p T_d}{T}$ 为微分系数, 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。增量式 PID 控制器算法的优点是改善积分饱和, 手动自动切换冲击小, 系统超调量小, 动态时间缩短, 动态性能得到有效改善。

运用上述增量式 PID 控制器算法编程, 并合理调整三种系数可以使机车运行平稳。可设计闭环系统原理图如图 3 所示

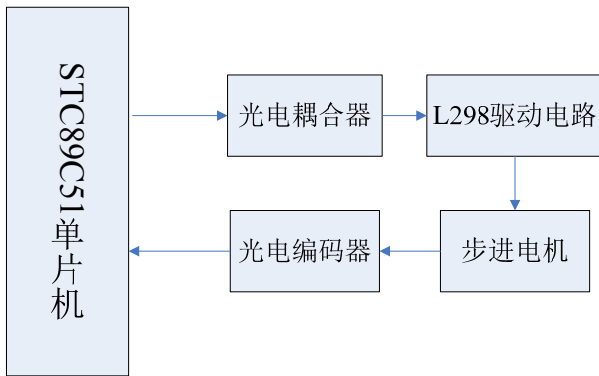


图 4 闭环系统原理图

Fig.4 The closed loop system diagram

由图 4 知 AT89C51 单片机通过光电耦合器, L298 驱动电路控制步进电机的运作, 光电编码器起到检测电机转速的作用, 所得值返回单片机进行比较, 结合增量式 PID 算法得到差值后调整脉冲个数, 使电机运作平稳。

3 软件设计

在晚上 21:30 到早 5:30 时间段里, 装置处于待机状态, 当早 5:30 时, 机车开始在绿色信号的作用下唤醒运作。在运作过程中, 遇到黄色信号灯速度减一档, 如遇红色信号灯, 延时减速停靠, 并播报站点, 停靠一定时间后机车以较低速度启动, 遇到绿色信号灯, 运行速度加速至正常运作速度, 如在运行过程中遇到较大障碍物, 此时需制动机车停靠排除障碍。由此可设计微处理器控制部分的程序流程图如图 5 所示:

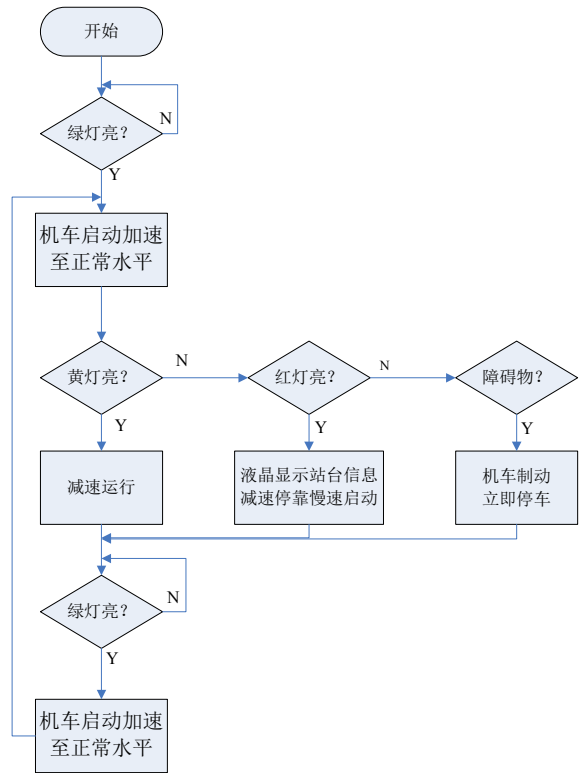


图 5 微处理器控制部分的软件设计

Fig.5 Software design of microprocessor control section

4 系统测试结果与分析

设计完成后, 对设计进行功能测试。测试方法为: 第一次设定地面模块信号开启, 关闭时间 (只设计一次, 以后无需再进行设计), 测试地面系统模块的工作情况, 再将模型机车放于轨道之上, 地面系统重新开启, 观察机车模型的运行状态, 主要核定颜色识别模块、电机运作, 语音、液晶显示等模块是否正常工作。此外观察机车运行过程中的连续性与自动性, 同时利用秒表测出机车往返一次和通过弯道时所用时间, 共测三组。

由前面的数据可以得到计算出机车往返一趟所需的时间公式为: 完成往返一趟运行总时间 $t =$ 各站点停靠部分耗时长 $t_1 +$ 弯道耗时长 $t_2 +$ 正常运行部分耗时长 t_3 , 其中在往返的过程中有 8 个站点停靠, 每个耗时 20s, 弯道弧长 $L=0.24m$, 预设速度为 3cm/s, 根据 $t_2=L/v_1$, 得到弯道耗时预测时长 = 8 秒。正常运行部分耗时长可根据 $t_3=(S-L)/v_2$, 得到约为 95.2s。由此可知, 往返一趟, 模型机车耗时 $t_1=8 \times 20+8+95.2=263.2s$, 正向弯道耗时 $t_2=8s$ 。结合测得数据与上面分析可得到的比较结果见表 1。

编号	测定次数			
	第一次	第二次	第三次	平均值
往返耗时 t/s	270.5	255.8	260.9	262.4
往返预测值 t/s	263.2	263.2	263.2	263.2
弯道耗时 t/s	7.5	8.2s	7.8	7.8
弯道预测值 t/s	8	8	8	8

表 1 测试与预测结果

Table 1 Test and predicted results

通过测试, 各个模块基本上可以有效的完成各项任务, 但颜色传感模块识别效率有点低, 语音模块报站较慢, 主要原因有白天光照较强, 影响了传感器对颜色光的识别, 造成反应上的迟钝, 可以通过外加防护罩的方法, 将外界干扰强度降低到可允许范围内, 同时降低机车的运行速度, 给予传感器更多的时间进行识别、判定。经过修改各项后模型机车运行速度约为 5cm/s 时, 语音模块报站时间得到改善避免了未报完站即到达站点的问题。经过修改, 由表 1 可以看到测试数据渐渐靠近预测值, 其中平均值与预测值之间的差距略小, 可以预测经调试后的系统运行时间, 在一天内机车往返 80 次的情况下, 误差控制在分钟左右, 整体性能可以得到有效保障。

5 结语

在机车运行自控装置的设计过程中着重地结合了自动控制理论, 传感器技术以及电力电子方面的理论, 基于模块化的思想进行总体设计, 能够实现模型机车在实际应用中的自动控制运行, 满足设计要求。其提供了无人列车运行控制系统运行所需要的关键性技术, 模型机车虽与实际机车相比在技术等方面存在很大的差距, 但仍可以看作为实验室内探索无人列车运行系统机制的一种模型, 具有一定的创新探索意义。此外该设计具有条理清新, 结构简单, 性能合理, 成本低的特点, 适合作为儿童益智玩具产品予以推广, 有助于少儿思维、认知等方面的拓展, 具有一定的商业价值和市场前景。

参考文献

1. 刘豫湘. 我国机车制动机的现状与发展 [J]. 2005, 28(1):6-9.
Liu Yu-xiang. Situation and Development of the locomotive brake [J]. 2005, 28(1):6-9.
2. Б. Д. Никифоров, 宋文杰. 俄罗斯铁路的列车制动自动控制系统 [J]. 国外内燃

机车. 1995(08):36-42.

3. Б. Д. Никифоров, Song Wen-jie. Train braking and automatic control system of the russian railways [J]. Foreign Locomotive. 1995 (08):36-42.
3. 贾利民, 张锡第等. 铁路运输自动化_现状_问题与挑战 [A]; 1994 年中国控制会议文集 [C]. 1994(08).
Jia Li-min, Zhang Xi-di. Railway transportation automation _ status _ problems and challenges [A]; The Proceedings of Chinese Control conference in 1994 [C]. 1994 (08).
4. 刘清平. 基于单片机的超声波测距仪的设计 [J]. 江西电力职业技术学院学报, 2013, 26(9):40-42.
Liu Qing-ping. Microcontroller-based design of ultrasonic range finder [J]. Journal of Jiangxi Vocational and Technical College of Electricity, 2013-3, 26(9):40-42.
5. 谢发忠, 邹华东, 吴年祥. 基于 TCS230 的颜色检测装置及其在智能装配机器人避障中的应用 [J]. 工程设计学报, 2013, 20(2):60-61.
Xie Fa-zhong, Zou Hua-Dong, Wu Nian-xiang. A color detection device based on the TCS230 and its application on the intelligent assembly robot for obstacle avoidance [J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2013, 20(2):60-61
6. 胡建民. 颜色传感器 TCS230 及颜色识别电路 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2006, 53(4):40-41.
Hu Jian. Color sensor TCS230 and its color identification circuit [J]. Micro-controllers & Embedded System, 2006, 53(4):40-41.
7. 王安敏, 尚绪超, 赵龙. 基于颜色传感器 TCS230 的油水界面检测仪的设计 [J]. 机械设计与制造, 2010, 21(9):21-22.
Wang An-min, Shang Xu-chao, Zhao Long. Design of the measurement of oil-water interface based

- on TCS230[J]. Machinery Design & Manufacture,2010
21(9):21-22.
8. 张永飞, 侯媛彬. TCS230 颜色传感器模糊识别算法[J]. 光学技术, 2013, 39(7):377-378.
Zhang Yong-fei, HouYuan-bin. Fuzzy indentification algorithm of TCS230 color sensor[J].Optical Technigue,2013,39(7):377-378.
9. 潘海鸿, 陈琳, 黄炳琼, 蒙健义. 基于 TCS230 传感器的高精度颜色识别系统设计[J]. 传感器与仪器仪表, 2009, 25(6):159-161.
Pan Hai-hong, Chen Lin,Huang Bing-qiong, Meng Jian-yi. High-precision color recognition system based on TCS230 sensor [J].,2009,25(6):159-161.
10. 潘万平, 徐刚, 张劲松. 基于 Proteus 的步进电机闭环控制的仿真 [J]. 煤矿机械, 2010, 31(2):46-47.
Pan Wan-ping, Xu Gang, Zhang Jin-song. Proteus-based close-loop control of stepper motor simulation[J]. Coal Mine Machinery,2010,31(2):46-47.
11. 王春民, 刘兴明, 嵇艳鞠. 连续与离散控制系统. 北京: 科学出版社, 2008.
Wang Chun-min,Liu Xing-ming,Ji Yan-ju.Continuous and Discrete Control System .Bei Jing: Science Press,2008.

基于 STC89C51 的超声波测距系统设计*

刘可；夏艳龙；王寰祎

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 针对当前交通安全日益严峻的问题, 设计了一种基于 STC89C51 芯片的超声波测距系统。此系统由超声波发射接收模块、LCD 显示模块、鸣响模块等组成。利用超声波测距原理实时检测车辆与前方障碍物的距离, 并对测得的距离值进行显示和预警, 其测距误差可保持在 3cm 内, 符合设计要求, 能成功减少交通事故的发生。

关键词: STC89C51 超声波测距仪 智能显示

中图分类号: TG156 **文献标识码:** A

Ultrasonic Ranging System Design based on STC89C51 MCU

LIU Ke; XIA Yan-long; WANG Huan-yi

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

Abstract: In view of the current traffic safety and growing problem, STC89C51 chip designed based on the core of the ultrasonic range finder. This system consists of an ultrasonic transmitter receiver module, LCD display module, sound modules and other components. The use of ultrasound to detect the distance of the obstacle in front of the detectable and temperature compensation. Ultrasonic Ranging in order to achieve accurate and intelligent display. The system is low-cost, functional and practical, and can be successful in reducing traffic accidents.

Keywords: STC89C51 ultrasonic range finder Smart Display

0 前言

随着人们生活水平的提高, 汽车的使用数量在不断的增加, 交通安全问题也面临着越来越严峻的挑战。为了使车辆的安全性不断提高, 涉及交通安全的许多汽车辅助系统也在不断现世。

随着交通事故的不断增加, 与主动安全系统相关的研究显得极为重要。然而相类似的设计存在着许多问题, 譬如系统容易损坏, 价格过高, 声音过小, 容易分散司机注意力等。为解决这些弊端, 本文提出一种可以实时探测车辆与车辆四周障碍物的距离的装置, 采用液晶模块对测得的距离值进行智能显示, 当距离值小于某一阈值时, 系统进行危险预警。该系统可使司机在不分散注意力的条件下感知车辆信息, 从而保证了车辆安全。本设计就是利

用单片机和传感器等技术, 对汽车安全警示装置进行的设计, 在汽车行进以及倒车时, 帮助驾驶员更好的了解车身周围环境, 避免事故的发生。

1 设计思路

系统采用单片机和超声波传感等技术, 在车辆前后各安装一个含有单片机和超声波传感模块的装置, 通过单片机控制超声波模块实现车辆之间距离的感知, 并增加了检测当前温度功能, 实现对超声波的温度补偿。经过处理后, 由液晶模块显示距离信息并由发出报警信号。

2 系统总体结构设计

系统由主控芯片、LCD 显示及报警装置、超声

*指导教师: 凌振宝

项目类型: 创新项目

波接收模块和超声波发射模块构成，如图 1 所示。由超声波发射和接收模块进行距离探测，通过主控芯片持续测温并进行温度补偿，最后通过 LCD 显示距离和温度，报警装置起到报警作用。

其工作原理：由主控芯片控制超声波发射模块向外发射 40kHz 的声波信号，同时，开启定时器进行计时。采用超声波接收模块接收返回的声波信号，根据定时器计算出超声波传播的时间 t ，从而获得车距信息。若接收装置未收到声波信号，则继续发送超声波，若收到声波信号，则探测当前的温度，并通过主控芯片进行温度补偿，并对结果进行分析判断，获取精确的距离信息，通过 LCD 显示距离和温度。若计算出的距离小于阈值，则通过 LCD 的显示模块和鸣响模块进行预警。反之，则控制芯片继续进行上述判断。

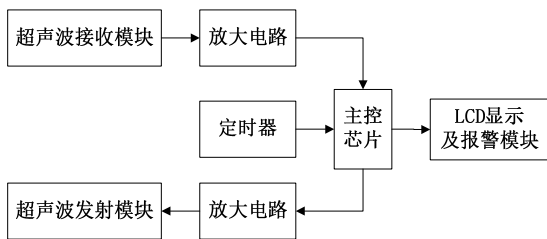


图 1 总体设计方案框图

Fig. 1 Over all design scheme diagram

3 关键模块设计

3.1 主控芯片 STC89C51

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。这使得它非常适合作为智能系统的主控芯片^[1,2]。

3.2 超声波测距模块

超声波收发单元采用文轩电子研发的高性能嵌入式无线收发模块。模块在 2.4~5.5V 电压下工作，待机功耗低于 2mA，性能较为稳定且受外界影响相对较小；误码率较小；最大探测距离为 5m，数据速率 kbps；自带的温度传感器可实现对测得的结果进行校正。如图 2 所示。

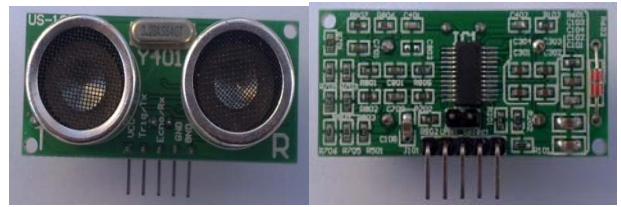


图 2 超声波测距模块

Fig. 2 Ultrasonic Ranging Module

串口通信协议：TX 发送 0x55 信号时，波特率为 9600，不含奇偶校验，无流控制。

在此模式下，系统连续发出 8 个 40kHz 的脉冲，然后对返回的声波信号进行检测，经过温度校正之后将结果通过 Echo 管脚输出。其时序图如图 3 所示。

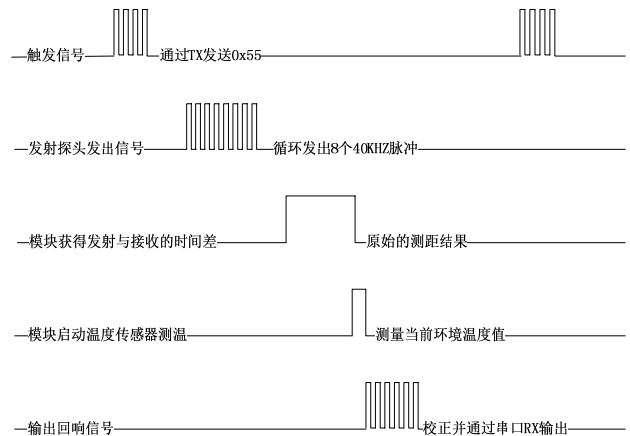


图 3 串口触发测距时序图

Fig. 3 the timing diagram of the serial interface triggers the ranging

超声波测距工作流程：由于超声波是一种声波，它与温度有关。若环境的温度变化不大，那么声速的近似认为不变，否则就需要测温对其进行补偿。声速和温度的关系如表 1 所示。当超声波发射模块检测到触发信号时，超声波发射模块发出 8 个连续的 40kHz 脉冲信号。置 INTO 为“1”，计数器开始计数，超声波接收等待回波信号，当信号到达时，单片机响应中断程序，关闭计数器；反之，若超声波接收端并没有接收到返回信号时，也需要响应中断程序，并重新开始计数，超声波接收模块继续等待经障碍物反射回来的声波信号。主控芯片通过计数器的计数来获得发射和返回声波的时间差，由此即可得到测距结果。该距离的计算公式为

$$d=s/2=(v*t)/2$$

其中：v 为声速；t 为往返时间；d 为距离；s 为声波往返总路程；

此时，启动温度补偿系统，由内部的温度传感器对当前温度进行测量。最后需要通过串口 RX 输出校正后的回响信号。

表 1 声速与温度关系表

Table.1 the sound velocity and temperature dependence of the table

温度 (°C)	-20	-10	0
声速 (米/秒)	319	325	332
温度 (°C)	10	20	30
声速 (米/秒)	338	349	386

3.3 LCD 显示及报警模块

当单片机接收到校正后的回响信号后，分析判断出当前信息，系统采用 LCD 进行温度，距离及报警 (danger) 显示。LCD 液晶屏具有体积小、使用方便、功耗低等优点。LCD1602 内部字符存储了不同的点阵字符。显示时，通过操作指令将所需要显示的信息显示在液晶屏上。1602 液晶屏识别的是 ASC II 码,通过 D0~D7 8 位数据端口输入数据和指令。

3.4 鸣响模块

系统可设置预定危险警戒值，当所测得距离小于设定值时，鸣响模块报警。鸣响模块如下图 4 所示。

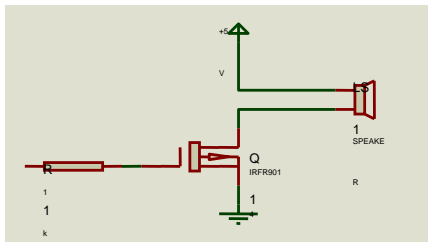


图 4 鸣响模块系统

Fig.4 the ringing module system

4 系统软件设计

软件主要采用 C 语言编写，可提高工作效率和程序的可靠性与可读性。采用模块化设计思想，主要包括超声波测距模块、LCD 显示及报警模块和鸣响模块。系统初始化包括对主从单片机 STC89C51、超声波模块进行初始化^[3, 4, 5]和 LCD 初始化。系统软件主程序流程如图 5 所示。

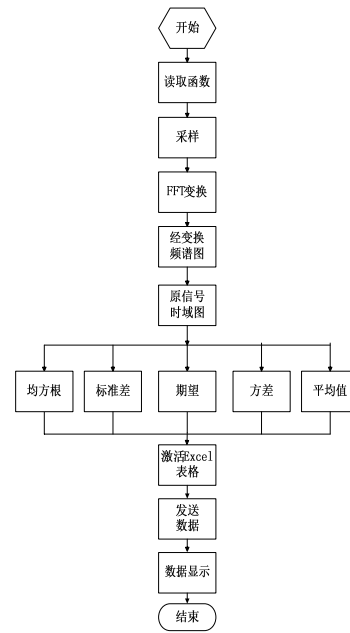


图 5 软件流程图

Fig 5 Flow chart of the software

5 系统测试实验

5.1 测试系统和过程

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：设置 a, b, c, d, e, f, g, h, I, j 十个点，点间距为 50cm，依次在各个点设置挡板。依次观察 LCD 液晶屏显示的距离，反复测量 10 次，记录并计算其误差平均值，分析其误差大小是否在允许的范围內。

5.2 测试结果及分析

根据上述测试方法得到的测试结果如表 2 所示，表中列出了系统测试实验中实测距离的平均值。从表中可以看出，实测距离满足系统要求。且在 10 次系统测试试验中，没有出现未显示和重复显示的情况。

表 2 超声波测距记录表

Table.2 The average distance of the Ultrasonic Ranging record sheet

距离	50cm	100cm	150cm	200cm	250cm
实测	51cm	101cm	152cm	199cm	252cm
距离	300cm	350cm	400cm	450cm	500cm
实测	299cm	351cm	400cm	452cm	503cm

测试试验中，LCD 显示模块显示距离、温度等信息，此时系统的信息为：当距离大于预定值时，

LCD 屏上显示温度、距离。当距离小于预定值时，液晶屏上显示闪烁“danger!”的同时鸣响模块系统进行报警。10 次系统测试实验中未出现信息误报现象，系统稳定可靠。

6 结束语

笔者设计的超声波测距系统采用单片机和超声波发射和接收模块等已经很成熟并且广泛应用的技术，基于模块化的思想进行整体构建，能实现自动感知和报警，符合实际应用的要求。本系统的创新点在于采用脉冲法测距法和温度补偿的思路。同时，其性价比高、设计合理、运转速度快、抗干扰能力强、功能齐全。为使此系统更加人性化、智能化，可在以下三个方面进行修改完善：（1）当障碍物移动速度过快时，误差也会加大；（2）温度补偿的精度有待提高；本系统经过多次测试，可以证明其性能稳定，显示准确，可以很好地为用户服务。

参考文献

1. 华兵.MCS-51 单片机原理应用[M].武汉: 武汉华中科技大学出版社, 2002.5: 47-61.
Huabing MCS-51 microcontroller Principle [M] Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002 .5:47-61.
2. 李华.MCU-51 系列单片机实用接口技术[M].北京: 北京航空航天大学出版, 1993.6: 87-93
Li Hua. MCU-51 series single-chip interface technology and practical[M] Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics published 1993.6:87-93
3. 张谦琳.超声波检测原理和方法[M].北京: 中国科技大学出版社, 1993.10: 11-16
Zhang Qian Lin ultrasonic testing Principles and methods [M] Beijing: the National University of Science and Technology Press,1993.10:11-16
4. 林伟, 梁家宁, 李才安. 便携式多功能超声波测距仪的设计与实现[J]. 电子测量技术, 2008, (01):29-31.
Portable design and implementation of Lin Wei, Liang Jianing, Lee Ann was versatile ultrasonic range finder [J] Electronic Measurement Technology, 2008, (01): 29-31.
5. 苏长赞.红外线与超声波遥控[M].北京: 人民邮电出版社, 1993.7: 26-35
Sue Chang Zan infrared and ultrasonic remote control [M] Beijing: People Post Press, 1993.7:26-35
6. 时德刚, 刘晔. 超声波测距的研究 [J]. 计算机测量与控制.2002.10: 34-36
Shi Degang, Liu Wow. Ultrasonic Rangin Study [J]. Computer Measurement & Control .2002.10:34-36
7. 恒清, 张靖. 加强单片机系统抗干扰能力的方法 [J]. 通化师范学院学报.2004,10: 2
Heng Qing, Zhang Jing. plus Methods strong anti-interference ability of SCM system [J]. Tonghua Teachers College.2004 .10:2
8. 九州.放大电路实用设计手册[M].沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002.5: 134-146
Kyushu amplifier circuit Practical Design Manual [M], Shenyang: Liaoning Ningke Science and Technology Press, 2002.5:134-146
9. 王丰, 薛红宣.采用软件抗干扰设计提高微机系统的可靠性[J].电子产品世界, 2004.1
Wang Feng, Xue Hongxuan. Using computer software to improve the anti-jamming design Reliability of the system [J]. Electronic products in the world, 2004.1
10. 占操, 梁厚琴, 曹燕.单片机系统中的软件抗干扰技术[J].电子技术, 2003.3
Zhan Cao,Liang Hou Qin, Yan Cao SCM system software Jamming technology [J]. Electronic technology, 2003.3

基于蓝牙的多终端通讯研究与实现*

胡强, 韩明洋, 李文明

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院 吉林 长春 130026)

摘要: 蓝牙技术自诞生之日起, 就给人们的生活带来极大便利, 在移动通信、无线数据采集、计算机网络控制等多种领域, 蓝牙技术有着广泛的应用。文章以蓝牙技术与串口通信为理论基础, 利用单片机、手机、PDA 以及 PC 控制平台, 设计具有通用性的多终端蓝牙通讯控制生系统, 实现上述硬件平台之间的通讯。经过验证, 该系统能够达到设计要求, 完成四种平台之间的通讯。

关键词: 蓝牙技术 多终端 无线通讯 信息传输

中图分类号: TH763

文献标识码: A

The multi-terminal communication system based on Bluetooth

HU Qiang, HAN Ming-yang, LI Wen-ming

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

Abstract: Since the date of birth of bluetooth technology, It has extensive application in the field of mobile communication, wireless data acquisition, computer network control. In this paper, with the Bluetooth technology as the theoretical basis, design of control system of multi terminal bluetooth universal with the single chip microcomputer, mobile phone, PDA and PC to realize the communication between hardware platform. After the verification, this system can meet the design requirements and completed the communication among the four platform.

Key words: Bluetooth technology; Multi terminal; Wireless communication; Information transmission

0 前言

蓝牙是一种支持设备短距离通信(一般 10m 内)的无线电技术, 支持众多设备之间进行无线信息交换。多终端蓝牙通讯系统指多种硬件平台之间通过蓝牙技术进行通信的系统, 此实验系统包括单片机, 手机, PDA, PC 机, 可以实现任意双方的字符、数字的传输与接收。针对上述四个终端的设计, 开发平台工具涉及 eclipse、visual studio, keil。其中单片机利用 stc89c52 完成硬件平台的设计。

1 系统总体设计

根据系统设计与通信工作要求, 多终端蓝牙通讯系统总体设计如图 1 所示, 包括单片机系统、手机、PDA、PC 机四个模块。单片机系统模块是基于

HC-06 蓝牙模块通过串口实现, 采用 STC 公司的低功耗单片机 stc89c52 作为主控芯片, 外设键盘、液晶; 主控芯片控制键盘输入传送字符并控制液晶显示接收和发送的字符。手机系统模块是基于魅族 mx2 手机, 采用 bluetooth4.0, 通过调用自身蓝牙功能, 设计通信软件, 完成字符串、数字的发送与接收, 具备清屏, 保存功能, 保存的文件以 txt 格式存储与内存卡中。PDA 是基于惠普 h2210(FA103A), 内置蓝牙模块 JSR-82, 系统语言为 Windows CE, 编程环境 vs2005。设计实现设置、接收、发送、保存、清除等功能。PC 机基于 matlab 设计串口通信软件, 可以进行参数的设置以达到设备之间的通信。最终单片机、手机、PDA、PC 四方基于蓝牙, 通过串口通信进行内部信息的传输与交换, 各平台将接受到的信息处理后通过屏幕显示出来。

*指导教师: 王智宏

项目类型: 创新项目

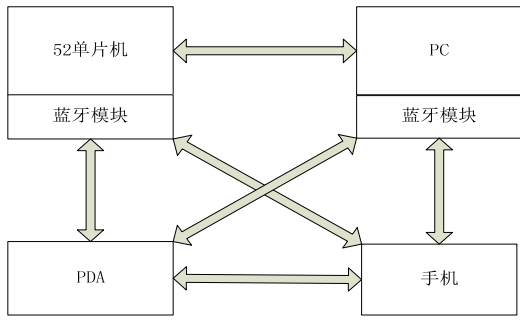


图 1 系统整体框图

Fig.1 Diagram of the system

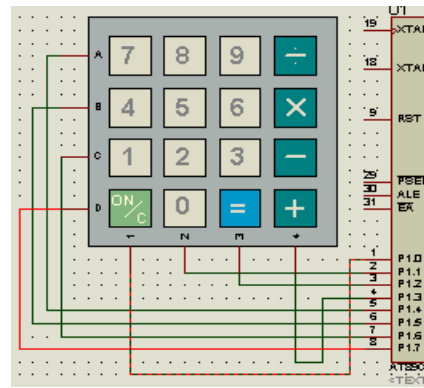


图 3 键盘电路图

Fig.3 The keyboard circuit diagram

键盘采用 4x4 矩阵键盘，将矩阵键盘引出的引脚分别与 52 单片机 P1 口 8 个管脚相连，硬件连接图见图 3。扫描过程如下，将 P1 口逐一赋予 0xfe,0xfd,0xfb,0xf7，然后将 temp 逐一赋予 0x10,0x20,0x40,0x80，当第 i 行 j 列键按下时即有 P1 & temp=0，则记被按下键位置为 i+4*j。

2.1.3 显示部分

2 系统模块实现方法

多终端蓝牙通信系统主要由单片机,手机,PDA,PC 机等部分组成。其中 PDA 与 PC 端通过串口通信，设置 com 端口（不同设备设置不同），波特率 9600、数据位 8，停止位 1 等一系列操作，完成设备的连接、通信，保存，清除，退出等操作。手机端串口助手软件编写将上述的设置规定为默认值，方便后续与其他设备的连接。

2.1 单片机部分设计

用 keil4 进行程序编写及调试，protues 进行部分仿真实验。其中硬件框图如图 2 所示：

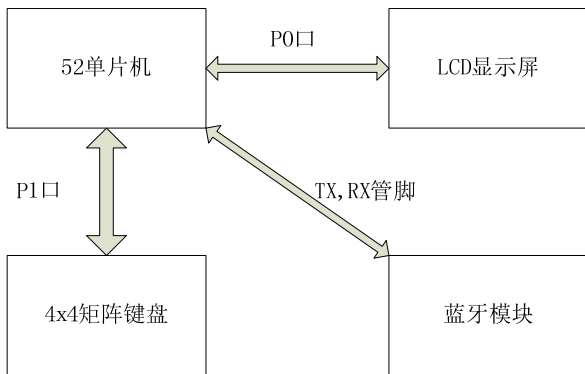


图 2 硬件连接框图

Fig.2 Hardware connection diagram

2.1.1 蓝牙模块设计

蓝牙模块采用 HC-06 型号，接口电平 3.3V 主要应用管脚 VCC、GND、TXD、RXD，VCC 接正极，GND 接地，TXD 接单片机的 RXD 而蓝牙模块 RXD 连接单片机的 TXD。通过蓝牙模块在单片机的 SBUF 状态寄存器下建立连接，通过 temp=SBUF 接收，通过 SBUF=Key_Value 进行发送。

2.1.2 键盘扫描

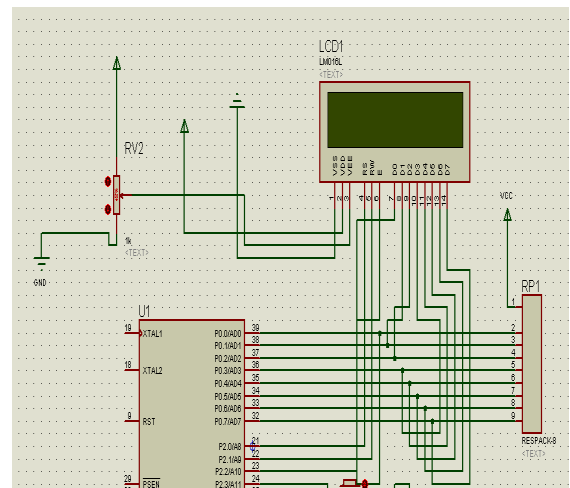


图 4 液晶显示电路图

Fig.4 Liquid crystal display circuit diagram

Lcd1602 作为显示，其数据口分别与 52 单片机 P0口 8 管脚相连之后连接上拉电阻，VEE 管脚连接滑动变阻器在分别接地和正极，VDD 和 VSS 分别接正极和地，硬件连接图见图 4。其工作过程为，程序在开始时对液晶模块功能进行初始化设置，约定显示格式，显示字符时要先输入显示字符地址，再根据内部字符发生存储器，输入指定代码显示字符。

2.2 手机部分设计

利用魅族 mx2，是一款基于 android4.1 系统的手机，设计语言利用 android 语言，基于 JAVA。编程软件使用 Eclipse v22.0.5 版本，进行手机端蓝

牙通讯软件的设计。Eclipse 是一个开放源代码的、基于 Java 的可扩展开发平台。

2.2.1 手机系统硬件

手机基于 Bluetooth4.0。具有超低的峰值、平均和待机模式功耗、低成本、不同厂商设备交互性、无线覆盖范围增强、完全向下兼容、低延迟 (APT-X) 等优点。

2.2.2 手机系统软件

设计系统主界面如图 5 所示，包括连接、发送、保存、清空、退出等五个控件，发送和接收两个文本框。

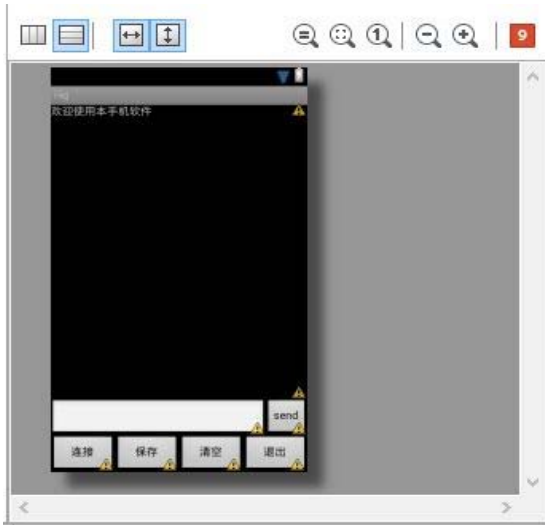


图 5 手机软件设计组件图

Fig.5 Mobile phone software component design

连接控件的设计包括自定义函数 findViewById 和 onConnectButtonClicked, 分别实现搜索设备和连接按键响应等功能。发送控件的设计利用 onSendButtonClicked 函数, 能够实现数字或字符串发送的功能。其他控件利用的函数以及相应的功能如表 1 所示。

表 1 控件设计涉及函数及参数

Table 1 Interface design involves the function and parameters

涉及函数	参数	作用
findViewById	R.id.Button03	搜索设备
onConnectButtonClicked	View v	连接按键响应
onSaveButtonClicked	View v	保存按键响应
onClearButtonClicked	View v	清除按键响应
onQuitButtonClicked	View v	退出按键响应
Save	()	保存按键响应
onSendButtonClicked	View v	发送按键响应

2.3 PDA 设计

PDA 使用的是惠普 h2210 (FA103A), 其中内置蓝牙为 JSR-82, 内嵌式模块。操作系统为 Pocket PC 2003, 具有蓝牙通讯功能。通过 USB 连接到 PC 端下载。

2.3.1 操作系统

用于掌上电脑 Pocket PC 的操作平台为 Windows Embedded Compact (曾被称为 Microsoft Windows CE), 为微软研发的嵌入式操作系统, 可以应用在各种嵌入式系统, 或是硬件规格较低的计算机系统。

2.3.2 PDA 软件功能设计

(1) 设计平台

PDA 软件方面我们需要编写一个串口通信软件。因为最后要生成 MFC 文件通过 Activesync 下载到 PDA 中, PDA 运行系统为 win CE, 对比了 Java、VB、C/C++ 几种编程语言后, 我选择了 C++, 它的底层控制能力和它与 windows 系统有更密切的联系, 环境选择了 vs2005。

(2) 界面设计

系统主界面链接了打开蓝牙、关闭蓝牙、发送数据、保存、清除五个控件, 以及包括发送、接收两个文本框。以上各部分 ID 分别为:

打开蓝牙: IDC_Bluetooth_Open。先判断串口是否已经打开, 然后新建串口通讯对象。

关闭蓝牙: IDC_Bluetooth_Close。使打开的串口关闭, 结束通讯。

发送数据: IDC_Bluetooth_Send; 先判断蓝牙是否已连接, 连接后将屏幕输入字符串行发送。

保存: IDC_Bluetooth_Save; 保存 PDA 接收界面数据及字符, 保存目录为 my docement /tongxun/baocun。

清除: IDC_Bluetooth_Clear; 将屏幕接收框中内容清空。

发送框: IDC_Bluetooth_Sendtxt; 显示通过蓝牙发出的字符和数据以及输入但未发送出去的内容。

接收框: IDC_Bluetooth_Receive; 显示通过蓝牙接收到的字符和数据。

主界面如图 6 所示:



图6 PDA端程序组件图

Fig.6 Application component diagram of the PDA

(4) 事件处理函数设计

选择 CSevil 串口类, 该类有 MFC 串口包, 界面各个控件对应的功能所需的调用函数分别为:

- 打开蓝牙: CxianshiDlg::OnBnClickedBtnOpen()
- 关闭蓝牙: CxianshiDlg::OnBnClickedBtnClose()
- 发送数据: CxianshiDlg::OnBnClickedBtnSend()
- 清除: CxianshiDlg::OnBnClickedButton2()
- 保存: CxianshiDlg::OnBnClickedBinSave()
- 确定: CDlgParams::OnBnClickedBtnOk()
- 取消: CDlgParams::OnBnClickedBtnCancel()

然后调用类中的串口设置方法:

- 串口: CDlgParams::OnCbnSelchangeCmbComNo()
- 波特率: DlgParams::OnCbnSelchangeCmbComBaud()
- 校验位: CDlgParams::OnCbnSelchangeCmbComParity()
- 数据位: CDlgParams::OnCbnSelchangeCmbComDatabits()
- 停止位: CDlgParams::OnCbnSelchangeCmbComStopbits()

(5) 生成 MFC 可执行文件

对程序进行编译, 成功后生成解决方案, 生成 MFC 可执行文件。

2.4 PC 部分设计

在 Matlab 中调用串口是通过 serial()以及相应的控制函数的方法实现的:

打开串口:

```
_communication_OpeningFcn(hObject,eventdata, handles, varargin)
```

```
串口设置: varargout = serial_communication(varargin)
```

```
波特率: bytes(obj,eventdata,handles)
```

```
校验位: jiaoyan_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
数据位: data_bits_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
停止位: stop_bits_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
清除: qingkong_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
发送: manual_send_Callback(hObject,eventdata, handles)
```

其过程主要分为四个步骤:

(1)创建串口设备对象并设置其属性。

波特率为 9600b/s 异步方式通信数据格式为 8 位数据位无奇偶校验位 1 位停止位。

(2)打开串口设备对象。

命令打开串口设备对象。

(3)读取串口数据

Matlab 通信数据采用文本 ASCII 方式时读写串口设备的命令分别是 fscanff 以及 fgetl, fgets fprintf.

(4)关闭串口设备对象

使用 fclose(s)命令关闭串口设备。其涉及主要操作函数如表 2 所示:

表 2 PC 终端设计主要函数

Table 2 Design of function of PC

涉及函数	函数功能
Fprintf	写函数, 以字符方式写
Fwrite	写函数, 以二进制方式写
Fscanf	读函数, 以字符方式读, 以 Terminator 为 结束符, 带有超时返回功能
Fread	读函数, 以二进制方式读, 读指定字符数
Fgets	读函数, 以字符方式读, 包括 Terminator
Fgetl	读函数, 以字符方式读, 忽略 Terminator 辅助操作。

利用 matlabGUI 设计 PC 端界面软件如图 7。

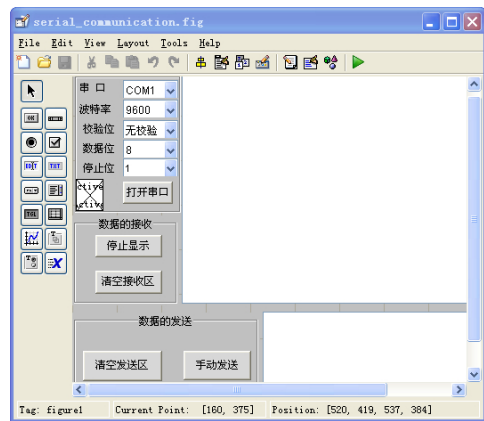


图 7. PC 端界面

Fig7 Interface of PC

3 实验测试

测试实验设备包括单片机、手机、PDA、PC 机。通过串口通信测试手机和 PC 机、PDA 的测试, 包括字符串和数字的传输。单片机和手机、PDA 的通信测试只是数字的传输。

1、进行手机与 PC 机通信的测试。手机端发送字符串作为测试字符, 最大字符量为 64 位, PC 机端

发送字符串，没有数量限制。双方进行通信，实验结果如图 7 所示。

2、进行 PDA 与手机机间进行通信测试。PDA 端发送数字，PC 端发送字符串，测试结果如图 8 所示，PDA 端并能进行清屏和保存操作。

3、进行单片机与 PDA 机间通信测试。如图 9 所示

4、进行单片机与手机间通信测试。如图 10 所示

5、手机与 PDA 保存操作如图 12 所示。



图 8 手机与 PC 端字符接收发送测试图

Fig.8 Characters to send and receive test of phone and PC



图 9 PDA 和手机端字符发送接收测试图

Fig.9 Characters to send and receive test pattern of PC and mobile phone



图 10 单片机与手机端接收与发送字符测试

Fig.10 Characters to send and receive test pattern of MCU and mobile phone

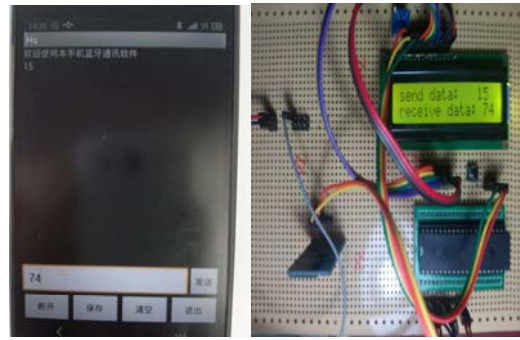


图 11 单片机与手机端接收与发送字符测试

Fig.11 Characters to send and receive test pattern of MCU and mobile phone



图 12 手机与 PDA 保存界面

Fig.12 The interface of mobile phone and PDA.

经过测试，四个平台通信状态良好，手机、PDA、PC 机之间可以准确无误地发送长字符串和长数字串，且手机和 PDA 有保存和清除功能。单片机可以发送两位数字，能够达到预期要求。

4 总结

本文针对蓝牙通信和串口通信技术设计并完成了多终端蓝牙通信系统，基于这个系统可以实现单片机、手机、PDA、PC 机间的通信。其中单片机可与其他设备实现数字的传输与接收。手机、PDA、PC 机可相互间进行字符串、数字的通信。手机、PDA 具有保存清除等功能。

参考文献

1. 马建仓, 罗亚军, 赵玉亭. 蓝牙核心技术及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
2. 罗辑, 高家利, 秦正, 蓝牙技术的应用现状及发展趋势 [J], 综述, 2006

3. 侯新琦, 李佳. 基于 android 蓝牙通讯的研究. 电子世界, 2012
4. 赵智聪. 基于 PDA 手机的移动监护通讯技术研究. 华南理工大学. 2010
5. 英正庆, 黄达谄. 蓝牙与控制系统通讯技术的研究. 电工技术. 2003
6. 周进波, 张磊. 基于 android 系统蓝牙开发的研究与实现. 光学仪器. 2013
7. 张显库, 高君佩. matlab 图形界面设计技术及应用. 电子与电脑, 1998
8. Kin Choong Yow;;Xiaoyu Liu ,Scheduling Mobile Data Services in a Bluetooth, Int'l J. of Communications, Network and System Sciences ,2010
9. S P Rana;M A Fisher;P F McKee, Group Communication Using Modular Protocol Stacks, BT Technology Journal , 2000
10. 刘黎, 廖常初. MATLAB 界面设计方法, 微计算机应用, 2000
11. 何桥, 段清明, 邱春玲. 单片机原理及应用. 中国铁道出版社. 2008

语音智能防追尾系统*

康小猛；石伦上

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 针对日益恶化的交通问题, 尤其是汽车追尾事故, 设计了语音智能防追尾系统, 系统基于 AT89C51, 由超声波测相对速度模块、测距模块、语音模块和显示模块组成。以达到检测两车距离, 相对速度, 来判断是否会发生追尾危险并在危险时发出语音警报。设计误差在 5cm 左右, 能达到减少追尾事故的要求。

关键词: AT89C51 超声波测距模块 超声波测速模块 语音模块 LCD 显示电路

中图分类号: TG156 **文献标识码:** A

Voice intelligent collision prevention system

Kang xiao-meng; Shi lun-shang

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

Abstract: Against the worsening the traffic problems, especially the car crash, designed the voice intelligent collision prevention system, this system is based on AT89C51, by ultrasonic relative velocity measurement module, ultrasonic distance measuring module, voice module and display module. To detect the car distance, relative velocity, to judge whether a collision risk and voice warnings in danger. 5 cm of error in the design, can achieve reduce the requirement of the collision.

Key words: AT89C51 Ultrasonic ranging module Ultrasonic speed measuring module Voice module The LCD display circuit

0 引言

随着科学技术的快速发展, 超声波将在测距仪中的应用越来越广。但就目前技术水平来说, 人们可以具体利用的测距技术还十分有限, 因此, 这是一个正在蓬勃发展而又有无限前景的技术及产业领域。展望未来, 超声波测距仪作为一种新型的非常重要有用的工具在各方面都将有很大的发展空间, 它将朝着更加高定位高精度的方向发展, 以满足日益发展的社会需求, 如声纳的发展趋势基本为: 研制具有更高定位精度的被动测距声纳, 以满足水中武器实施全隐蔽攻击的需要; 继续发展采用低频线谱检测的潜艇拖曳线列阵声纳, 实现超远程的被动探测和识别; 研制更适合于浅海工作的潜艇声纳, 特别是解决浅海水中目标识别问题。毋庸置疑, 未来的超声波测距仪将与自动化智能化接轨, 与其他的测距仪集成和融合, 形成多测距仪。随着测距仪的技术进步, 测距仪将从具有单纯判断功能发展到

具有学习功能, 最终发展到具有创造力。在新的世纪里, 面貌一新的测距仪将发挥更大的作用。

近年来, 随着汽车越来越普及, 伴随而来的的隐患也越来越多, 汽车追尾就是其中的安全隐患之一。在人们驾驶途中, 因为雨天, 大雾, 车速过快, 疲劳驾驶等, 经常发生追尾事故, 轻则造成经济损失, 重则威胁到人们的生命。为了尽可能的减少汽车追尾事故, 保证人们的生命和财产安全, 防汽车追尾装置变得尤为重要。

1 超声波及其测距技术

1.1 超声波

超声波是指频率高于 20KHz 的机械波。为了以超声波作为检测手段, 必须产生超生波和接收超声波。完成这种功能的装置就是超声波传感器, 习惯上称为超声波换能器或超声波探头。超声波传感器有发送器和接收器, 但一个超声波传感器也可具有发送和接收声波的双重作用。超声波传感器是利

*指导教师: 周逢道

项目类型: 创新项目

用压电效应的原理将电能和超声波相互转化，即在发射超声波的时候，将电能转换，发射超声波；而在收到回波的时候，则将超声振动转换成电信号。超声波测距的原理一般采用渡越时间法 TOF (time of flight)。首先测出超声波从发射到遇到障碍物返回所经历的时间，再乘以超声波的速度就得到二倍的声源与障碍物之间的距离。超声波测距适用于高精度的中长距离测量。因为超声波在标准空气中的传播速度为 331.45 米/秒，由单片机负责计时，单片机使用 12.0MHZ 晶振，所以此系统的测量精度理论上可以达到毫米级。由于超声波指向性强，能量消耗缓慢，在介质中传播距离远，因而超声波可以用于距离的测量。利用超声波检测距离，设计比较方便，计算处理也较简单，并且在测量精度方面也能达到要求。

1.2 超声波测距原理

发射器发出的超声波以速度 v 在空气中传播，在到达被测物体时被反射返回，由接收器接收，其往返时间为 t ，由 $s=vt/2$ 即可算出被测物体的距离。如果测距精度要求很高，则应通过温度补偿的方法加以校正。

1.3 超声波模块——US100

US-100 超声波测距模块可实现 2cm~4.5m 的非接触测距功能，拥有 2.4~5.5V 的宽电压输入范围，静态功耗低于 2mA，自带温度传感器对测距结果进行校正，同时具有 GPIO，串口等多种通信方式，内带看门狗，工作稳定可靠。

实物图如下：

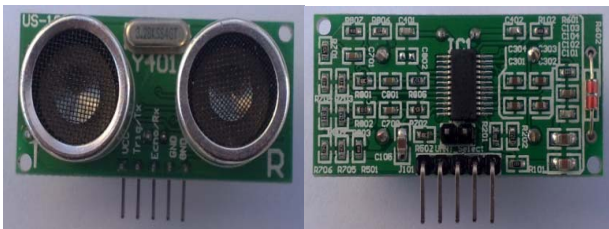


图 1 超声波实物

Fig.1 Ultrasonic physical

1.4 串口触发测距工作原理

在此模式下只需要在 Trig/TX 管脚输入 0X55 (波特率 9600)，系统便可发出 8 个 40KHZ 的超声波脉冲，然后检测回波信号。当检测到回波信号后，模块还要进行温度值的测量，然后根据当前温度对测距结果进行校正，将校正后的结果通过 Echo/RX 管脚输出。输出的距离值共两个字节，第一个字节是距离的高 8 位 (HData)，第二个字节为距离的低 8 位 (LData)，单位为毫米。即距离值为 (HData*256+LData) mm。串口触发测距的时序如图 1.2 所示：

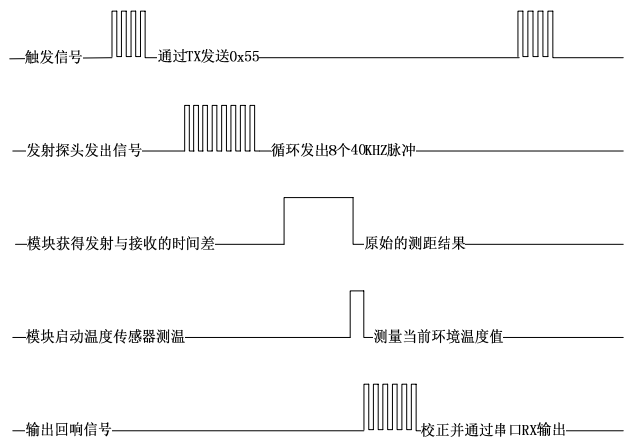


图 2 串口触发测距时序图

Fig.2A serial port triggering ranging sequence diagram

2 系统设计

对于语音智能防追尾装置，具体要求为检测车距，两车相对速度检测，以及语音报对于语音智能防追尾装置，具体要求为检测车距，两车相对速度检测，以及语音报警三个部分。故我们把次系统分为三个模块：超声波测距——获得前车和后车之间的距离、测速——基于超声波传感器测量两车的相对速度和语音报警——把是否可能发生追尾报告给驾驶者。系统总设计图如图 3

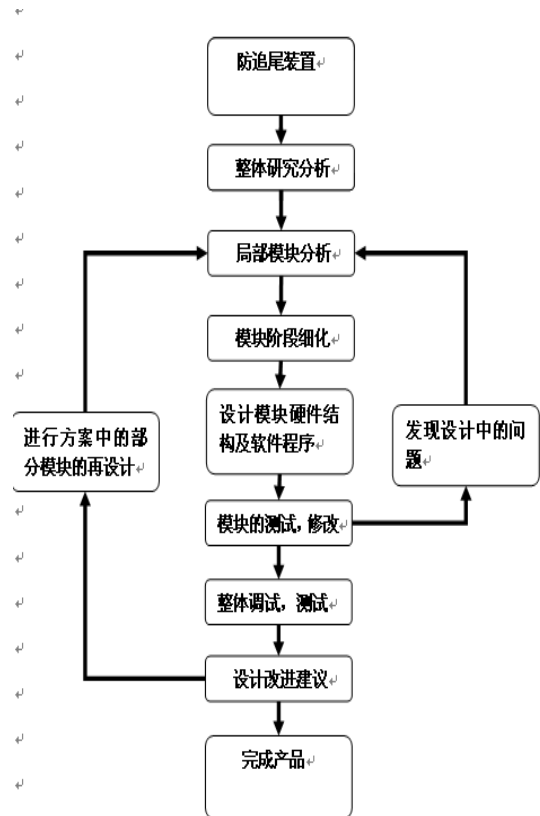


图 3 系统总设计图

Fig.3The system total design

3 系统实现

3.1 超声波测距——获得前车和后车之间的距离

利用 US100 超声波测距模块以及外设电路测距。

3.2 测速——基于超声波传感器测量两车的相对速度

我们在实验当中，测量两个移动物体的相对速度，并不能直接测量得出。所以我们就运用超声波传感器，在设定的一秒时间内，分别测量后车距离前车的距离，求出两车在一秒时间内的位移差，从而能得出两车的相对速度。

3.3 语音报警——把是否可能发生追尾报告给驾驶员者。

PLAYL:放音控制电平触发端。当该端为低电平时，芯片进入放音周期；当该端为高电平时停止放音。

PLAYE:放音控制脉冲触发端。当该端输入由高电平向低电平跳变时，芯片进入放音周期。

RECLEL:录音显示端。该端接发光二极管，在录音时作为录音指示灯。

REC:录音控制端。该端为低电平时，芯片进入录音状态，录音期间该端必须保持低电平。

ISD1420的硬件连接图如图4。首先使用按键控制REC引脚实现语音的录制，记录下三段语音的起始地址，分别为00H, 10H, 30H。之后单片机根据光强状态，控制芯片的地址实现相应语音的播放。

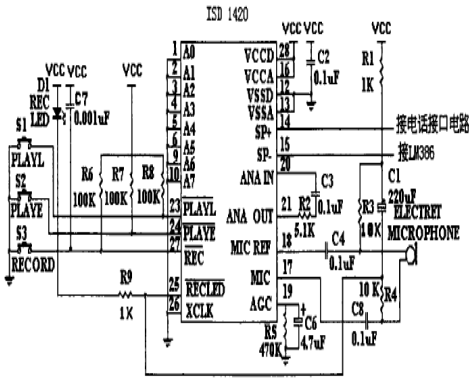


图 4 ISD1420 硬件连接图

Fig.4 ISD1420The hardware connection diagram

4 系统软件设计

软件主要采用 C 语言编写，可提高工作效率和程序的可靠性与可读性。采用模块化设计思想，主要包括超声波测距测速模块、LCD 显示及报警模块。系统初始化包括对主从单片机 AT89C51、

超声波模块进行初始化和 LCD 初始化。系统软件主程序流程如图 5 所示。

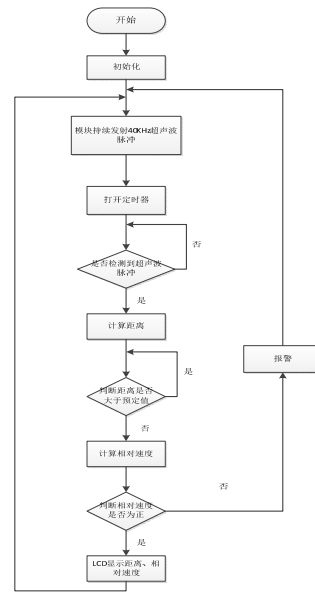


图 5 软件流程

Fig.5Software process

4 系统测试实验

4.1 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：选择两辆小车，前车装上此装置，先让两车在同一轨道上按相同速度行驶，通过改变后车的速度和距离来观察 LCD 显示的距离和相对速度并在一定的情况下语音报警。我们假设两车之间的安全距离为 1m，两车的相对速度当后车大于前车时的速度为正，反之为负。数据如图 6

距离/m	1.50	1.50	0.90	0.90	0.50	0.50
显示/m	1.48	1.49	0.91	0.89	0.47	0.50
相对速度	正	负	正	负	正	负
有无危险	无	无	有	无	有	无
是否报警	否	否	是	否	是	否

表 1 实验数据图

Table 1 The experimental data in figure

测试试验中，LCD 显示的相对速度和距离符合预期，误差在允许的范围，并且能够准确进行报警。

5 前景展望

此系统的设计符合预期，但是仍有部分有提高的空间：特殊的天气，人为环境，驾驶者可以通过变换按钮，设置与驾驶环境相同的安全系数；把此项系统装入到驾驶者的导航或者手机当中，使得使用更方便快捷；以及系统的可靠性，实用性，经济性。

6 结束语

笔者设计的系统技术已经趋于成熟并且有了广泛的应用，同时设计能实现距离和相对速度的测量，并且能够很人性化的通过可录语音播报出来，并且设计的性价比较高，方便实用，误差较低，稳定性强，安全系数高，适合广泛的推广和应用。

最后谢谢在设计过程中给予我们指导的周逢道老师以及给予我们帮助的小伙伴们。

参考文献

1. 吴金成.8051 单片机实践与应用[M].北京：清华大学出版社，2006
2. 张珩，刘亚杰.基于单片机的超声波测距倒车防撞报警系统[J].广西轻工业，2009/9
3. 李文辉.基于 MSP430 单片机的超声波倒车雷达监测报警系统[J].自动化与仪器仪表，2009/4
4. 朱利娜.基于单片机的超声测距倒车雷达的研究[J].微计算机信息，2007/23
5. 鞠永胜. 基于嵌入式系统汽车倒车雷达的设计与实现[D]. 山东：山东大学，2010.
6. 张国熊. 测控电路[M]. 北京：机械工业出版社，2003.
7. 阎石. 数字电子技术基础[M]. 北京：高等教育出版社，2004.
8. 侯媛彬等. 凌阳单片机原理及其毕业设计精选[M]. 科学出版社，2006.
9. 李朝青. 单片机原理及接口技术[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2002.
10. 高海生，杨文焕. 单片机应用技术大全[M]. 成都：西南交通大学出版社，1996.
11. 陆冬妹. 基于温度补偿的超声波倒车测距系统的设计[J]. 齐齐哈尔大学学报，2011，27（2）.
12. 刘典文等. 基于单片机 STC89C51 设计的超声波测距仪[J]. 中国新技术新产品，2010，8：16~17.
13. Vizimuller. RF design guide-systems, circuits, and equations [M]. Boston: Artech House, 1995.
14. Keil Software. The Final World On the 8051[M]. Germany : Keil Elektronik GmbH and Keil software, 1997.

地下金属探测器*

王 赋； 张 雨； 梁豪男

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012;)

摘要: 随着社会现代化进程的日益加快, 城市建设也在快速的发展, 而地下的电缆和管道遍布整个城市, 导致大量地下管线及通信光缆被无意的破坏, 更为重要的是, 在城市建设过程中, 由于一些战争残骸以及废弃金属的存在, 给城市现代化的进程带来了很大不便。因此, 浅层地表的金属探测就显得尤为重要, 本文以 STC89C51RC 单片机作为控制器, 电涡流传感器模块, 信号处理模块, A/D 模块, LCD 显示以及蜂鸣器报警模块组成了测量系统, 主要利用了电涡流传感器的非接触式测量, 通过感受磁场的变化, 从而确定是否存在金属。本系统通过非接触测量, 可以感知地表以下 5-10cm 内的金属, 并可以估计金属的大小。

关键词: 金属探测 电涡流传感器 非接触测量 低功耗 智能化

中图分类号: TG156

文献标识码: A

Underground metal detectors

Wang fu; Zhang yu ; Liang haonan

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

Abstract: With the process of social modernization, the urban construction develop rapidly, underground cables and pipelines across the city, resulting in a large number of underground pipeline and communication optical cable has been damaged by the unintentional, more importantly, in the process of urban construction, as a result of the existence of some war wreckage and scrap metal, brought a lot of inconvenience to the modernization of cities. Therefore, the shallow surface of metal detection is particularly important, this paper takes STC89C51RC single-chip microcomputer as the controller, the eddy current sensor module, the signal processing module, A/D module, LCD display and buzzer alarm module of the measuring system, the main use of eddy current sensor non-contact measurement, through the feelings of the change of the magnetic field, to determine whether there is A metal. By non-contact measurement, this system can sense within 5-10 cm below the surface of metal, and can estimate the size of the metal.

Key Word: Metal detector; The eddy current sensor; Non-contact measurement; Low power consumption; Energy saving

0 前言

金属探测器作为一种安全检查设备, 已被广泛地应用于社会生活和工业生产的诸多领域, 并对工业生产及人身安全起着极其重要的作用。金属探测器广泛应用于工农业生产和安全防范, 其中智能式金属探测器具有精度高、反应灵敏、体积小、使用方便、等优点, 在各种使用场合中备受青睐。金属探测器一般是利用信号处理电路对传感器输出的电压或频率信号进行处理, 在探测到金属时驱动报警指示电路。按其检测原理大致分为差拍式、自激振荡

式和耗能式 3 种。目前金属探测器广泛采用差拍式和自激振荡式检测原理, 电路一般由探测振荡器、参考振荡器、混频器、放大器和报警电路等 5 部分组成。将其运用到智能仪器中, 赋予了其更多的功能、同时失误率有显著的降低^[1]。

地下金属探测器利用了金属探测器的原理, 应用电涡流效应, 当金属通过电涡流传感器的下方时, 产生感应磁场, 从而使传感器的磁场发生变化, 有变化可知金属是否存在。

1 系统总体结构

*指导教师: 周志坚

项目类型: 创新项目

本文所设计的地下金属探测器，由 STC89C51 控制器、A/D 0809 模数转换器、12864 LCD 液晶显示器、电涡流传感器、电涡流变换电路组成，系统总体框图如图 1 所示。电涡流传感器在感受到金属时产生涡流效应，通过电涡流转换电路转化为电压信号，并通过 A/D 0809 模数转换器转化为数字信号传递给控制器处理，然后经过 12864LCD 液晶显示器显示出来，以达到探测金属的要求。

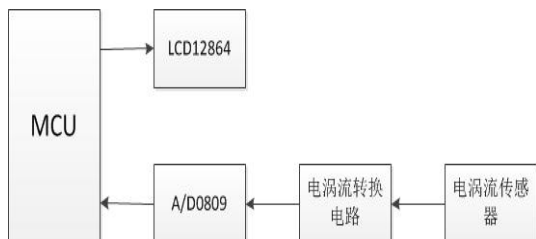


图 1 系统总体结构

Fig.1 System architecture

2 硬件设计

2.1 控制模块设计

本系统采用 STC89C51 单片机作为系统控制器，STC89C51 是一类具有 16 位总线的带 FLASH 的单片机。它采用 16 位的总线，外设和内存统一编址，寻址范围可达 64K，还可以外部扩展存储器。具有统一的中断管理，具有丰富的片上外围模块。由于为 FLASH 型，则可以在线对单片机进行调试和下载，由于 JTAG 口直接和 FET 相连，不需另外的仿真工具，方便实用，而且可以在低功耗模式下工作^[2]。

系统控制器外围电路由电源、转换模块、LCD 显示模块三部分组成，系统的硬件电路原理图如图 2 所示。控制器采集转换电路输出的数字信号，并最终通过 LCD 显示模块显示出来。

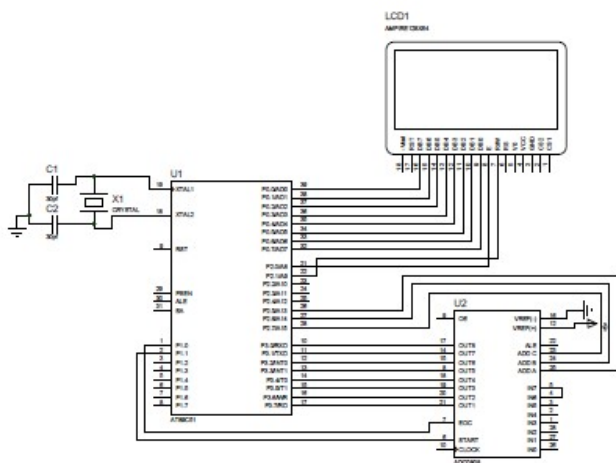


图 2 系统硬件电路图

Fig.2 System hardware circuit

2.2 电涡流转换模块

本系统电涡流转换模块采用谐振法，这种方法是将传感器线圈的等效电感的变化转换为电压或电流的变化。传感器线圈与电容并联组成 LC 并联谐振

回路。并联谐振回路的谐振频率为：
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

；且谐振时回路的等效阻抗最大，等于 $Z_0 = \frac{L}{R'C}$ ；

式中，R' 为回路的等效损耗电阻。当电感 L 发生变化时，回路的等效阻抗和谐振频率都将随 L 的变化而变化，因此可以利用测量回路阻抗的方法或测量回路谐振频率的方法间接测出传感器的被测值。

谐振法主要有调幅式电路和调频式电路两种基本形式。调幅式由于采用了石英晶体振荡器，因此稳定性较高，而调频式结构简单，便于遥测和数字显示。因此在本系统中采用了调频式测量电路^[3]。

调频式测量电路的原理是被测量变化引起传感器线圈电感的变化，而电感的变化导致振荡频率发生变化。频率变化间接反映了被测量的变化。这里电涡流传感器的线圈是作为一个电感元件接入振荡器中的。图 4.3 是调频式测量电路的原理图，它包括电容三点式振荡器和射极输出器两个部分。为了减小传感器输出电缆的分布电容 C_x 的影响，通常把传感器线圈 L 和调整电容 C 都封装在传感器中，这样电缆分布电容的影响并联到大电容 C₂、C₃ 上，因而对谐振频率的影响大大减小了。

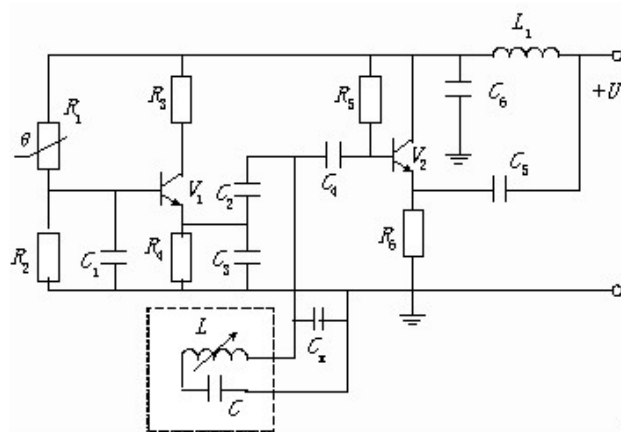


图 3 电涡流转换电路

Fig.3 Eddy current switching circuit

2.3 电涡流传感器模块

电涡流传感器由探头、伸电缆、置器及被测体构成，高频振荡电流通过延伸电缆流入探头线圈，在探头端部线圈中产生交变磁场 H1 在交变磁场的

有效范围内没有被测体靠近时,则磁场能量会全部损失;被测体靠近这一磁场时,则在此被测体表面产生感应电流-电涡流,如图4所示。与此同时被测体上的电涡流场产生交变磁场 H_2 , H_2 的方向与 H_1 方向相反,由于磁场的反作用使探头线圈中电流大小和相位都发生了变化,即探头线圈的阻抗发生了变化,用探头线圈阻抗的变化来反映被测体的涡流效应,电涡流的反作用探头线圈等效阻抗的变化与电涡流强度、被测体的导电率、磁导率、几何尺寸、激磁电流、频率及探头线圈与被测体之间的距离等有关。因此,电涡流传感器可看作由载流探头线圈和被测体两部分构成^[4]。

电涡流传感器的工作过程是:当被测体与探头之间的距离发生变化时,探头线圈的品质因数 Q 值也发生变化。 Q 值的变化引起振荡电压的变化,振荡电压经过检波、滤波、线性补偿、放大归一化处理转化成电压(电流)变化,最终完成转换。由上所述,电涡流传感器工作系统中被测体可看作传感器系统的一半,即一个电涡流传感器的性能与被测体有关。

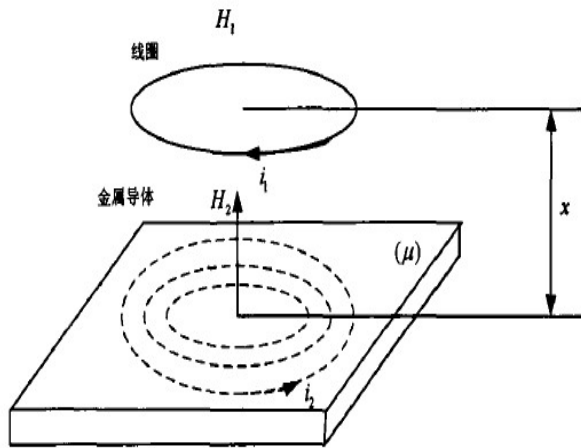


图4 电涡流工作原理

Fig.4 Working principle of eddy current

3 软件设计

主控制器的程序流程图如图6所示,主控制器的程序主要包括模块的初始化、获取采集到的电压信号、数据处理等组成。主要任务是将传感器传来的数字信号进行采集和处理。首先对电涡流转换电路传来的模拟电压信号进行模数转换,在转换结束后采集A/D转换器输出的数字信号,通过对数字信号进行处理最终在LCD液晶显示屏上显示。显示屏上显示的数值即为电涡流的变化^[5]。

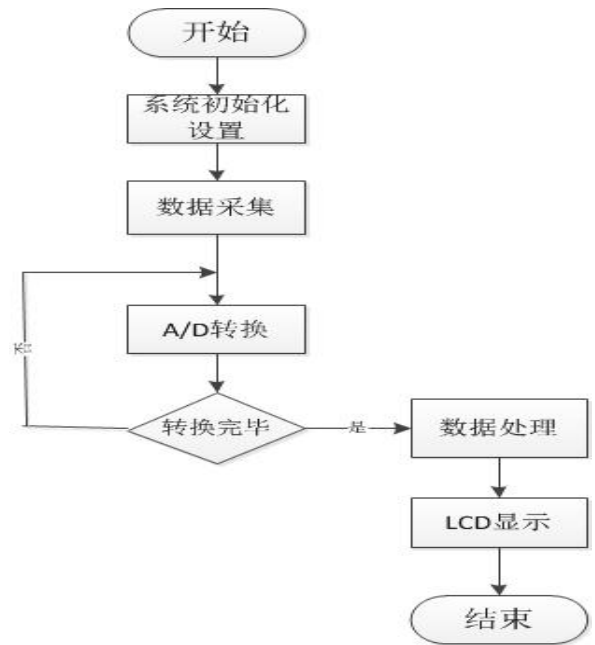


图5 软件系统流程图

Fig.5 System software flow chart

4 测试结果

将试验样机在实验室进行测试:各个模块工作正常,利用实验室圆铁片作为被测金属,当传感器探头置于圆铁片上方5cm-10cm时,显示屏上显示的电压值变化明显,在10cm以外时电压值很小并接近0。详细测试结果如图6所示:

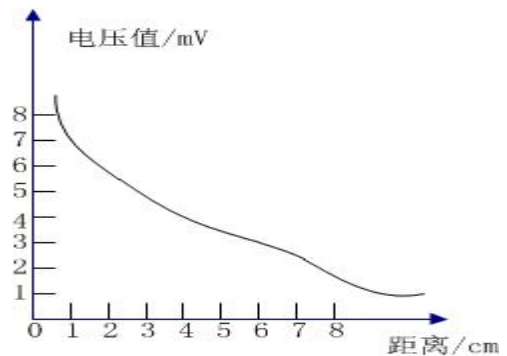


图6 系统测试结果图

Fig.6 System test result

5 结束语

本文介绍的地下金属探测器可以探测到近地表的金属,但对于地下深处的金属无法探测,在进行金属探测的过程中将结果以电压值的形式进行显示,让人一目了然,并可以确定金属的边缘和中心。和以往的金探测器相比,具有体积小,重量轻,携带方便的特点。此外,利用电涡流传感器还可以

对金属的大小和材质进行探测，由于条件的限制，本设计未能实现，但对以后进一步的研究具有深远的意义。

参考文献

1. 张学勇.一种金属探测器设计[J].安徽建筑工业学院学报, 2007, 15 (3): 1—3
2. 宋凤娟,孙军,李国忠.基于 89c51 单片机的数字电压表设计 [J]. 制造业自动化, 2007, 29(2): 89-90.
3. 康华光著.电子技术基础（模拟部分）[M].高等教育出版社,2006: 116-118.
4. 孟得东.基于电涡流式金属探测仪的特性研究 [D].哈尔滨理工大学, 2009: 18—19
5. 程德福, 林君等.智能仪器（第二版）[M].机械工业出版社, 2010.

感应式空心线圈布置和组合方式的研究*

张伟 夏正阳 康盼

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130026)

摘要: 感应式空心线圈的布置和组合方式是近地表探测的主要研究课题之一。根据电磁感应原理即法拉第电磁感应定律, 当激励源周期性变化时, 由于地下异常体的涡流效应, 进而在接收线圈中感应出电压, 将电压信号采回进行上位机处理从而达到探测的目的。对于近地表探测这一具体的仪器设计, 需要具有针对性的线圈设计方案。实验结果表明: 多匝线圈并联的设计方案可以在提高线圈匝数的同时, 有效的降低了线圈的总电感量。高频感抗大大的降低, 发射信号的高频部分峰峰值增加、极好的改善了信噪比。同时线圈匝数增多, 磁矩增大, 满足发射功率的要求。

关键词: 感应式空心线圈 电磁感应 等效模型

中图分类号: TG156 **文献标识码:** A

Induction Of Air-core Coil Arrangement And Combination

Zhang wei Xia Zhengyang kang pan

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

Abstract: Induction of air-core coil arrangement and combination is one of the main research topic in the near surface detection. According to the principle of electromagnetic induction that Faraday's law of electromagnetic induction, when the excitation source cyclical change, due to the eddy current effect of underground abnormal body, and then in the receiving coil induction voltage, the voltage signal taken back to the upper machine processing so as to achieve the purpose of detection. For near surface to detect the specific instrument design, needs to have targeted the coil design. To determine the specific parameters of receiving coil and compensation coil and geometric layout. Finally complete the coil and the actual measurement. Experimental results show that the number of turns of coil parallel design scheme can improve the coil number of turns at the same time, effectively reduce the total inductance coil. High frequency impedance reduced greatly, the high frequency part of signal Peak-Peak value increases, excellent improved signal-to-noise ratio. An increase in the coil number of turns at the same time, increase magnetic moment, meet the requirements of transmission power.

Keywords: inductive air-core coil electromagnetic induction the equivalent model

0 前言

随着我国经济社会的快速发展, 城市化进程越来越迅速, 房屋拆迁重建、地铁建设, 摩天大楼动工等建设项目铺天盖地。地下浅层结构如供水排水管道、供电电缆线和天然气管道等由于盲目施工而遭到破坏, 从而造成经济损失和人员伤亡, 给城市化建设带来很多不利因素, 因此浅地表探测就显得尤为重要。浅地表地质结构, 线路管道等均反映为电性异常和磁性异

常^[1]。应用频域电磁法仪器可在施工前无损探测地下结构, 通过空间的软件成图表述空间分布情况, 描绘出地下管道走向, 给施工带来帮助。频率域电磁法的基本原理是以平面波入射的不同频率的天然电磁场向地下传播过程中, 在地球介质中感生出二次电磁场, 通过在地面观测入射的和感生的不同频率的电磁场信号, 求解地下电阻率分布及有关电性结构参数^[2]。感应式空心线圈技术的研究正是频域电磁法仪器研制的关键部分。感应式空心线圈基于法拉第电磁感应定律原理, 当激励源周期性变化时, 由于地下异常体的涡

*指导教师: 刘长胜

项目类型: 创新项目

流效应，进而在接收线圈中感应出电压，从而达到探测的目的。目前国内对感应式空心线圈的研究正处于起步阶段，因此对其进行深入的研究具有良好的发展前景。

本文介绍了一种感应式空心线圈布置和组合方式，通过借鉴相关设计方案和国内外先进仪器设计的经验，提出了一套设计方案。设计并制作了发射线圈和接收线圈。发射线圈采用多匝并联的组合方式，在匝数和正常缠绕线圈匝数相等的条件下，降低了阻抗和电感，在信号频率较高时同样可以发出峰峰值较大、信噪比较高的波形。在接收线圈前端设计一个补偿线圈，其匝数与横截面积的乘积远小于接收线圈的匝数与其横截面积的乘积。将补偿线圈放置在接收线圈与发射线圈间，将整体系统移置到高处，在仅有发射线圈激励的情况下，微调补偿线圈的位置，使补偿线圈的感应电动势和接收线圈产生的感应电动势相等，将两个参考线圈中的一个与接收线圈反向相连可去除一次场。将数据采集后进行上位机处理就能得到异常体信息。

1 方案设计及理论计算

1.1 发射线圈方案设计

发射线圈的主要性能指标是波形信噪比和功率^[3]。

波形信噪比定义为发射波形的峰峰值与线圈的感抗之比。频率域电磁法多频发射波形为多频正弦波，在信号频率为低频时较容易，发射信号为高频时比较困难，提高发射信号的信噪比主要的难点在于高频信号。线圈的感抗为 ωL ，其中 f 为发射信号频率， L 为电感量。由此可见，在高频时感抗较大，在同样的频率下，减小电感量可以减小感抗，增大发射波形的峰峰值，进而提高信噪比。减小电感量最好的办法就是减少线圈匝数。

发射信号的功率由发射磁矩 $I \times n \times A$ 来表示，其

中 I 为加载到线圈上的电流大小， n 为线圈的匝数， A 为线圈的横截面积。在实际应用中，线圈的横截面积固定，发射机功率固定，只有通过加大线圈匝数来提高发射磁矩。

综上所述，在发射机功率、线圈横截面积一定的前提下，要改善发射信噪比、提高波形质量需要减少线圈匝数，要提高信号的磁矩需要增加线圈的匝数。显然传统的绕制线圈方式（如图 1，实际线圈为圆形，

直径为 197mm，匝数为 92）无法兼顾这两个方面。

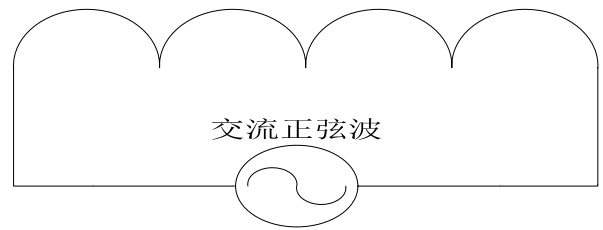


图 1 传统的绕制线圈方式

Fig.1 the traditional way of winding coil

多匝并联缠绕方式与传统缠绕方式略有不同，匝数同样为 92 匝。缠绕时每 23 匝为一个独立线圈。将四个独立的线圈同相并联，一起加到发射机上。（如图 2 所示，线圈为圆形，直径为 197mm，匝数均为 23）

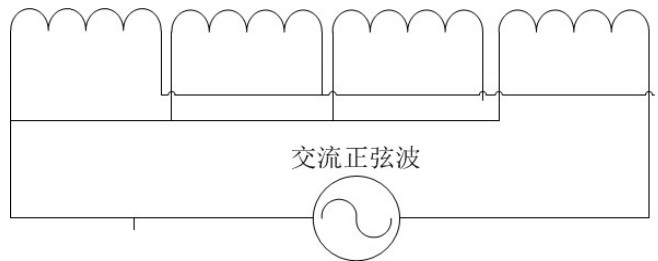


图 2 多匝并联缠绕方式

Fig.2 turns more parallel winding way

用 Ansoft Maxwell 软件进行仿真。安匝数为 23，边界条件为绝缘边界条件，经过仿真，直接缠绕方式电感量 $L=2.58\text{mH}$ ，多匝并联方式每个小线圈电感量 $L=618.4\mu\text{H}$ ，并联电感量 $L=198\mu\text{H}$ 。

1.2 接收及补偿线圈方案设计

水平面上放有三个线圈 TX, RX1, RX2 如图 3:

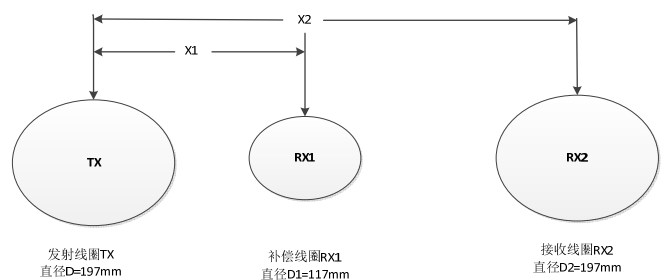


图 3 各个线圈空间位置

Fig.3 each coil space position

设 TX 线圈通入正弦交流电流，从而产生交变磁场，发射电磁感应从而产生感应电动势。根据理论计算得知感应电压与发射到接收的距离的三次方成反

比，即： $\frac{A_1 \omega N_1}{r_1^3} = \frac{A_2 \omega N_2}{r_2^3}$ ，其中 A_1 、 A_2 分别为 RX1 和 RX2 的

横截面积 N_1 , N_2 ，分别为 RX1 和 RX2 的线圈匝数， N_1 ,

N_2 分别为RX1、RX2距TX的水平距离。

由公式： $\frac{A_1 N_1}{x_1^2} = \frac{A_2 N_2}{x_2^2}$ 可以得出在水平面上，接收

线圈与接收线圈之间的电磁感应关系，根据此关系设计传感器探头如图4所示。

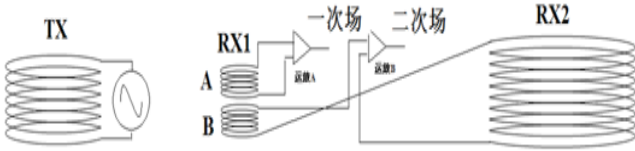


图4 探头线圈连接方式

Fig.4 probe coil connection mode

设TX线圈通正弦交流电流，产生交变磁场，交变磁场在均匀半空间传播，遇到RX1和RX2发射电磁波。其中RX1分为A、B两个部分。A、B两部分线圈的横截面积、匝数均相等。由于RX1距离TX水平位置远大于RX1横截面积的直径，且A、B两部分匝数较少，故A、B两线圈被TX发出的交变磁场所激发的感应电压可视为相等。其中RX1的A和B部分横截面直径均为117mm，匝数均为11匝。RX2的横截面直径为197mm，匝数为114匝。

2 线圈总体布局方案设计

线圈的组合方式有同轴放置，同心放置，共面放置等方式。在本设计中采用共面放置的组合方式。放置RX1、RX2的位置，先将RX2固定在距离TX线圈1.6米处，然后放置RX1的位置，放置理论位置后，保证三个线圈的中心截面在同一水平面上。根据公式

$\frac{A_1 N_1}{x_1^2} = \frac{A_2 N_2}{x_2^2}$ ，设置RX1和RX2的水平位置（TX、RX1、

RX2在同一直线上且RX2的横截面及匝数远大于RX1的A、B部分），可找到一点使得RX1的B部分与RX2的感应电动势相等，将这两个线圈瞬时反向相连，此时两线圈的感应电动势为零，该电动势引出由运放B放大用来测量二次场。RX1的A部分被激发所产生的感应电动势等于RX1的B部分和RX2分别单独产生的感应电动势，A部分所产生的感应电动势引出又运放A放大用来测量一次场。通过观察运算放大器B的输出值进行微调，将输出结果尽量调至零。由于工艺等问题，该输出结果很难调至零点。所以在调至最接近零点处固定线圈，用软件记录下此时运算放大器B的输

出，为以后数据处理提供参考。经过实际测试，补偿线圈应位于距发射线圈0.518m处。

3 实际测量结果与特性分析

3.1 测量方法

将各线圈按照设计好的布局方案进行安装。将整个装置水平的放置于高处，同时远离金属物品等异常体。在发射线圈上加上正弦波激励源，在接收线圈输出端加一级同向比例放大器，通过频谱分析仪观察接收信号的频谱。不断调整补偿线圈的位置，当接收线圈输出信号频谱接近发射信号频谱时，固定补偿线圈。并记录下此时接收线圈的电压输出值，为后续的合理的误差补偿提供参考。线圈实际布置如图5：



图5 线圈实际布置图

Fig.5 coil physical layout

3.2 线圈电感特性分析

为了验证设计方案的合理性和可行性，对线圈进行了实际测试。首先，使用LRC测试仪分别测量了每一个单独的发射线圈和并联后发射线圈的电感量，实际测量结果见表1：

表1 发射线圈电感量实测结果

Table 1 transmitter coil inductance measurements

电感	100Hz	120Hz	1kHz	10kHz	20kHz	100kHz
发射线圈1	27.4mH	19.2mH	641.6 μH	201.4 μH	196.2 μH	194.0 μH
发射线圈2	27.5mH	19.1mH	616.4 μH	216.5 μH	212.2 μH	210.7 μH
发射线圈3	27.0mH	19.0mH	628.6 μH	208.7 μH	222.2 μH	221.5 μH
发射线圈4	27.2mH	19.1mH	619.3 μH	210.2 μH	217.8 μH	226.5 μH
发射并联	1.6422mH	1.1844mH	201.86 μH	142.32 μH	141.59 μH	142.54 μH

实际测量结果表明：多匝并联的线圈缠绕方式可以有效地降低发射线圈的总电感量。在激励源频率为1KHZ时，直接缠绕方式电感量L=2.95mH，多匝并联缠绕方式四匝小线圈分别为641.6 uH、616.4uH、628.6 uH、619.3 uH，并联总电感量为201.8 uH。在改善了发射机信噪比的同时也提高了发射磁矩。

3.3 线圈阻抗特性分析

在近地表电磁探测仪器中，发射线圈的阻抗特性直接影响了发射机的发射效果。如果发射线圈阻抗过大，则线圈中的电流就会很小，进而降低发射磁矩，影响发射效果。如果发射线圈阻抗过小，那么线圈上单位面积上的电流就会很大，超过一定限度就会将线圈烧毁。

使用LRC测试仪对每一个线圈的阻抗进行了测

量, 实际测量结果见表 2:

表 2 各线圈阻抗实测结果

Table 2 the coil impedance measurements

阻抗Z	100Hz		120Hz		1kHz	
	模值(Ω)	向角(°)	模值(Ω)	向角(°)	模值(Ω)	向角(°)
发射线圈1	1.68	6.08	1.69	7.38	2.37	41.34
发射线圈2	1.68	6.09	1.69	7.28	2.36	41.27
发射线圈3	1.68	6.09	1.68	7.3	2.36	41.33
发射线圈4	1.67	6.08	1.68	7.28	2.36	41.38
发射并联	343.29m	19.83	350.47m	24.29	1.163	63.39
接收线圈	7.18	17	7.32	19.95	21.8	71.28
补偿线圈	551m	5.69	556m	6.88	703m	21.13
阻抗Z	10kHz		20kHz		100kHz	
	模值(Ω)	向角(°)	模值(Ω)	向角(°)	模值(Ω)	向角(°)
发射线圈1	15.43	83.3	30.68	86.59	153.37	89.09
发射线圈2	15.34	83.37	30.52	86.57	152.7	88.9
发射线圈3	15.38	83.28	30.6	86.61	151.2	88.9
发射线圈4	15.27	83.42	30.64	86.74	153.8	89.09
发射并联	8.927	85.88	17.785	87.89	89.563	89.5
接收线圈	206.4	88	411.8	88.9	2.07k	89.8
补偿线圈	2.28	73	4.4	80.23	21.741	88

实际测量结果表明: 随着频率的增加, 各线圈的阻抗模值和向角也随之增加。并联后的发射线圈阻抗明显减小, 在 10KHZ 时阻抗模值仅为 8.9Ω。在近地表探测中大部分频点位于 10KHZ 以下, 所以我们可以认为 8.9Ω 为发射线圈阻抗的最大模值。在匝数和正常缠绕线圈匝数相等的同时, 降低了发射阻抗, 在信号频率较高时同样可以发出峰峰值较大、信噪比较高的波形。

4 结语

本设计对传统的感应式空心线圈布置和组合方式进行了改进。实际测试表明: 采用多匝并联的发射线圈结构, 有效的减小了发射阻抗, 提高了发射信噪比, 满足了在高频下发射峰峰值较大的正弦波的要求。利用补偿线圈, 其产生的二次场仅为接收线圈产生的二次场的三十分之一, 可以忽略不计。令其与接收线圈反相连接可以抵消接收信号中的一次场, 获取地下异常体产生的二次场信息, 实现对地下目标进行无损探测的目的。

参考文献

1. 林君. 电磁探测技术在工程与环境中的应用现状 [J]. 物探与化探, 2000 (03) 8-18.
2. 刘国栋. 频率域电磁法仪的最新进展 [J]. 第 8 届中国国际地球电磁学讨论会论文集, 2007, 28 (12) :63-70.

3. 张赫. 宽频带低频连续波电磁法仪器的研制 [J]. 吉林大学硕士学位论文, 2012; 1:36—37.
4. 滕建财, 陈聪鹏, 郭航. 压阻式压力传感器中的信号调整 [J]. 仪表技术与传感器, 2009(10) :360-362.
5. 康光华, 陈大钦, 张林. 电子技术基础 [M]. 北京: 高等教育出版社:418-423.
6. 林占江. 电子测量技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011(11) :12-15.
7. 程德福, 林君. 智能仪器 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012 (7): 42-55.
8. 吴兴惠, 王彩君. 传感器与信号处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1998:1-14.
9. 浦昭邦, 王宝光. 测控仪器设计. 北京: 机械工业出版社, 2001.

公寓安全防盗系统的设计实现*

李方威；吴琼；张迪

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要：为了预防集体公寓内无人或夜间睡眠时入室偷盗行为的发生，利用红外避障传感器以达到监测非法入室行为的目的，并且实现快速准确设防、撤防及撤防状态下具有实用生活功能等特点，本文以 STC89C52RC 单片机作为控制器，RFID 射频模块、LCD 显示电路模块、声光报警模块、UPS 不间断供电稳压电源模块和红外避障、温度、烟雾传感器模块组成公寓安全防盗系统。此系统是可以实现设防状态下准确报警、自动视频监控 USB 控制接口、断电持续监控等的防盗报警功能，并根据生活的实际需要，增添数字温度计、时钟日历、烟雾防火预警等生活功能的公寓安全防盗系统。

关键词：公寓防盗 快速设防、撤防 RFID 射频 断电持续监控

Design and implementation of the security system for apartments

Li Fangwei; Wu Qiong; Zhang Di

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

Abstract: In order to prevent the occurrence of burglary, theft of unattended or sleep at night in a collective apartment, using infrared sensors to achieve barrier monitoring illegal acts burglary purpose and achieve fast and accurate Arm, disarm and disarm the state of practical life functions, this paper in STC89C52RC microcontroller as controller, RFID radio module, LCD display circuit module, sound and light alarm module, UPS uninterruptible power supply power supply module and an infrared barrier, temperature, smoke sensor modules apartment security systems. Can achieve maximum security state accurately alarm, automatic video surveillance control USB interface, power outages continued monitoring of burglar alarm, and in accordance with the actual needs of life, adding apartment security systems digital thermometer, clock calendar, smoke fire alarm and other life functions .

Key words: Apartment burglar; Quick Arm, disarm; RFID RF; power continuous monitoring

0 前言

传统防盗报警系统均为家庭、商用防盗报警系统。主要采用技术方案为：传感器采用红外线人体感应探测器；撤防布防采用遥控设置及按键密码设置；具有多种布防方式和防区类型；自动电话通知报警等。技术方案成熟，成本价格一般。功能多，通用性较强，但应用在集体公寓的特殊环境下专用性较差。本文设计一种多功能公寓安全防盗系统，可以通过 RFID 射频卡快速准确设防和布防，然后自动对非法入室等行为进行监控及报警。本系统有设防和撤防两个工作状态，每个工作状态下采用多个传感器进行监测，每个传感器将采集到的信号通过

单片机处理信息并发送到显示及报警系统。本公寓防盗系统不仅能在设防状态下准确进行防盗报警，而且可以在撤防状态下实现多种实用生活功能，能够方便公寓内人员的日常生活。

电源方面，本系统选择 UPS 不间断供电稳压电源作为供电电源。UPS(Uninterruptible Power System)系统，即不间断电源系统，是一种含有储能装置，以逆变器为主要组成部件的恒压恒频的不间断电源^[1]。在公寓夜间断电或人为使设备断电时，UPS 电源为整个系统提供不间断电源，比干电池组供电时间长，且循环充放电，节约环保。

1 系统总体结构

*指导教师：姜弢

项目类型：创新项目

本文所设计的公寓安全防盗系统，由 STC89C52RC 控制器，MFRC522 RFID 射频模块、声光报警模块、视频监控控制 USB 接口、LCD 显示模块、UPS 不间断供电稳压电源模块和红外避障、烟雾、温度传感器等组成，系统总体结构图如图 1 所示。采用 MFRC522 射频模块进行射频卡的识别，识别成功时切换工作状态，工作状态为设防状态和撤防状态。E18-D80NK 红外避障传感器模块集发射与接收一体的光电传感器，发射光经过调制后发出，接收头对反射光进行解调输出，经 NPN 型光电开关输出数字信号。MQ-2 烟雾传感器、DS18B20 温度传感器均输出数字信号。将检测到的信号经过单片机 I/O 口输送给单片机进行软件滤波、数据综合等处理产生相应数字信号传递给 LCD 显示模块及声光报警模块进行处理，达到公寓内安全防盗及实用生活功能的目的。

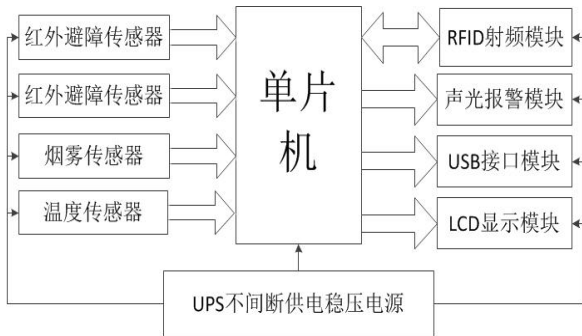


图 1 系统总体结构

Fig.1 System architecture

2.1 主控及电源模块

本系统采用 STC89C52RC 单片机作为控制器，STC89C52RC 是一种低功耗、高性能 CMOS 8 位微控制器，具有 8K 在系统可编程 Flash 存储器。它可降至 0Hz 静态逻辑操作，支持 2 种软件可选择节电模式。空闲模式下，CPU 停止工作，允许 RAM、定时器/计数器、串口、中断继续工作。

主控制器系统的外围接口电路由两个红外避障传感器、DS18B20 温度传感器、MQ-2 烟雾传感器、LCD 显示模块、RFID 射频模块、视频监控控制 USB 接口、声光报警电路等组成，系统的硬件电路原理图如图 2 所示。UPS 不间断供电稳压电源模块通过 9V 转 5V 三端稳压电源为系统提供稳定的 5V 电压，9V 转 5V 三端稳压电源电路原理图如图 3 所示。

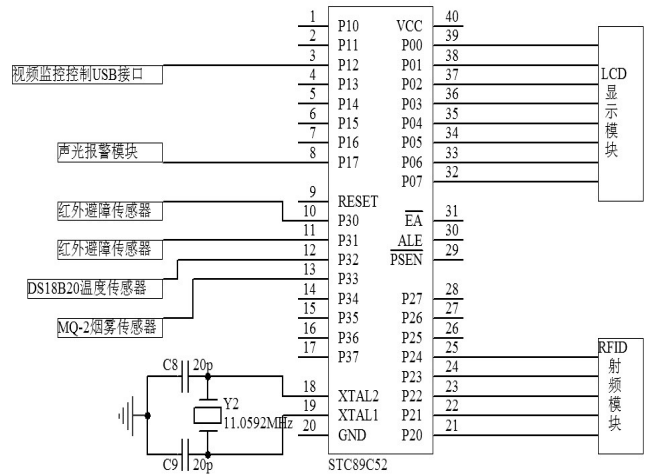


图 2 系统硬件电路图

Fig.2 System hardware circuit

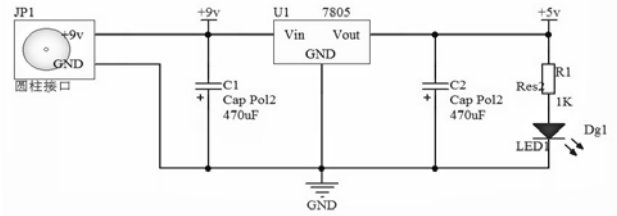


图 3 9V 转 5V 三端稳压电源电路

Fig.3 9V turn to 5V three terminal regulator power supply circuit

2.2 传感器检测模块

2.2.1 设防状态中应用的传感器检测模块：

红外探测模块：本设计采用 E18D80NK 红外避障传感器，该模块由门外红外避障、门内红外避障两个传感器装置并排组成^[2]。当有人进入时，门外装置先被遮住并检测到信号，传送低电平信号至主控芯片，主控芯片综合分析信号后，对视频监控控制 USB 接口输出控制信号；当门被打开时，门内开关再被遮住检测到信号，传送低电平信号至主控芯片，主控芯片综合分析信号后，对声光报警电路输出控制信号，并通过 LCD 显示模块提示用户通过 RFID 射频卡进行撤防解警。

烟雾检测模块：本设计采用 MQ-2 烟雾传感器模块，主要芯片为 LM393、ZMQ-2 气体传感器，工作电压为 DC5V，原理图如图 4 所示。可以检测到有害气体和烟雾的产生，当室内烟雾超出阈值时输出低电平，由主控芯片处理，向声光报警电路输出控制信号。

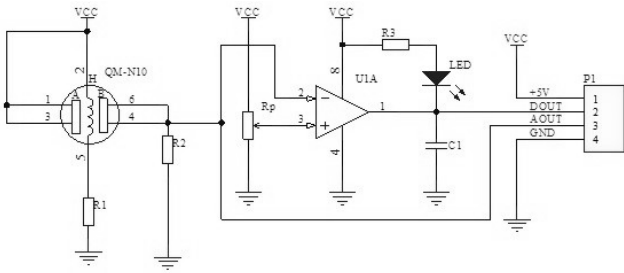


图4 MQ-2烟雾传感器模块原理图

Fig.4 MQ-2 smoke sensor module schematic

2.2.2 撤防状态中应用的传感器检测模块：

温度传感模块：本设计采用 DS18B20 温度传感器。它在测温精度、转换时间、传输距离、分辨率等方面有很大改进^[3]。在撤防状态中实时测定室内温度，由主控芯片处理并通过 LCD 显示模块进行温度显示。

2.3 RFID 射频模块

本设计采用 MF RC522 非接触式通信读写卡芯片与互补天线电路共同组成 RFID 射频模块。该芯片是应用于 13.56MHz 非接触式通信中高集成度读写卡系列芯片中的一员^[4]，具有低电压、低成本、体积小等特点的非接触式读写卡芯片。互补天线电路与其相连，天线电路原理图如图 5 所示。RFID 射频模块对射频卡信息进行读取，传送给主控芯片处理，若射频卡信息识别成功则切换系统的工作状态。

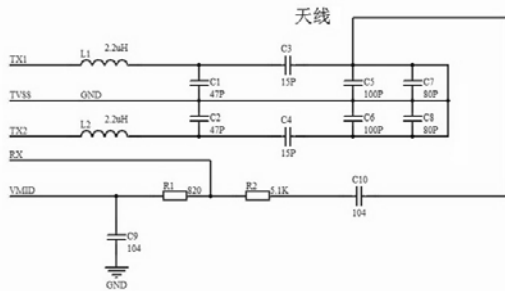


图5 天线电路原理图

Fig.5 Antenna circuit schematics

2.4 USB 接口模块

本设计采用 PNP8550 三极管作为 USB 接口驱动电路的元件。它是一种低电压，大电流，小信号的 PNP 型硅三极管。最大集电极电流为 0.5A，可以满足 USB 接口驱动自动视频监控设备的工作。USB 接口驱动电路如图 6 所示。主控芯片通过控制 USB 接口的驱动电路，实现对视频监控设备的自动控制功能。

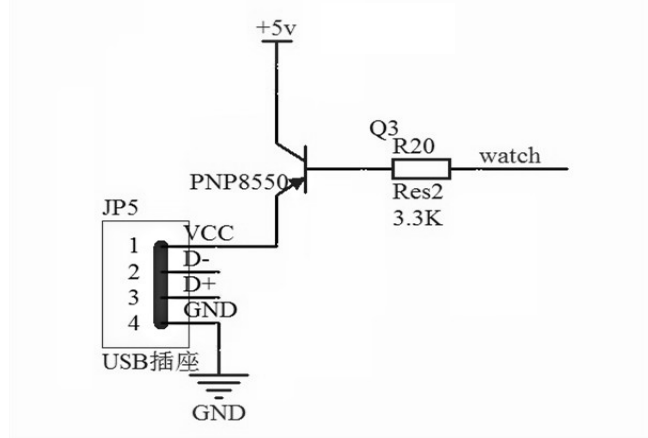


图6 USB接口驱动电路

Fig.6 USB interface driver circuit

2.5 LCD 显示模块

本设计采用 LCD1602 字符型液晶。它是一种专门用来显示字母、数字、符号等的点阵型液晶模块，具有低功耗、体积小、显示操作简单等特点^[5]。主控芯片对 LCD 显示模块进行信号输出，控制 LCD 的显示内容，实现时钟日历、文字信息提示等功能。

2.6 声光报警模块

本设计采用有源蜂鸣器和 LED 发光二极管。主控芯片通过程序控制有源蜂鸣器和 LED 发光二极管的工作频率，从而实现声光报警模块先进行低频提示音，逐渐转为高频报警音的功能。

3 软件设计

主控制器的程序流程图如图 7 所示。主控制器的程序主要包括系统初始化、RFID 射频卡数据识别、传感器检测模块信息处理，发出控制指令等部分。主要任务是系统初始化后默认工作状态为撤防状态，接下来对 RFID 射频模块传来的信息进行识别，识别成功后切换系统工作状态。撤防状态下，主控制器将温度传感器传来的数字信号进行处理，并将当前温度信息及时钟日历在 LCD 显示模块上显示；设防状态将红外避障传感器、烟雾传感器传来的数字信号进行数字滤波处理，经主控制器处理后向声光报警模块及 USB 控制接口发出控制信号。

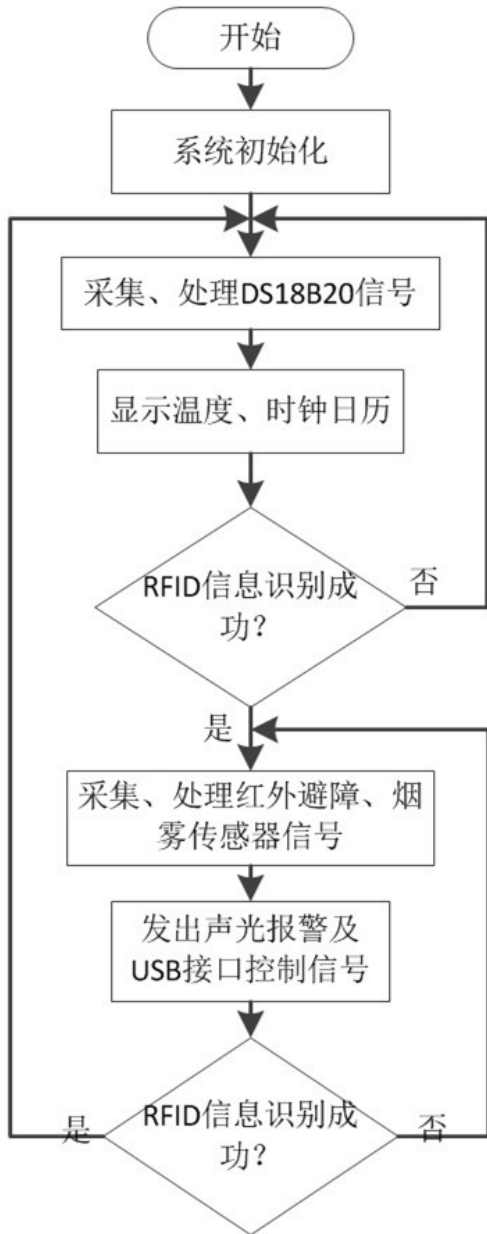


图 6 软件系统流程图
Fig.6 System software flow chart

4 测试结果

将试验样机与传统防盗报警系统进行设防、撤防速度及准确率测试：在相同工作条件下，测试结果 RFID 射频卡识别切换工作状态，较密码识别速度有大幅度提升，较遥控识别准确率有较大提升。详细测试结果如图 7 所示：

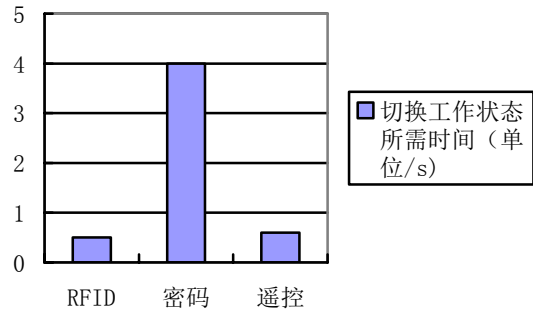


图 7 (a) 设防、撤防速度测试结果
Fig.7 (a) Arm, disarm speed test results

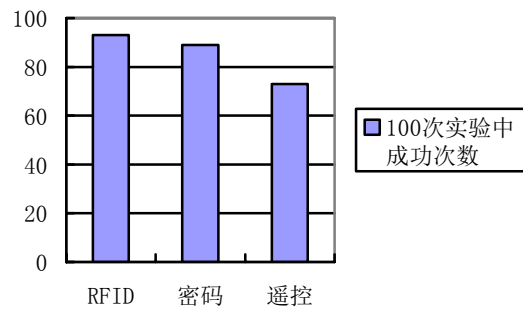


图 7 (b) 设防、撤防准确率测试结果
Fig.7 (b) Arm, disarm the accuracy of test results

将试验样机与传统防盗报警器进行防盗报警准确率测试：在相同的集体型公寓工作条件下，测试结果为本次设计公寓安全防盗系统，较传统防盗报警系统准确率方面有明显提升。详细测试结果如图 8 所示：

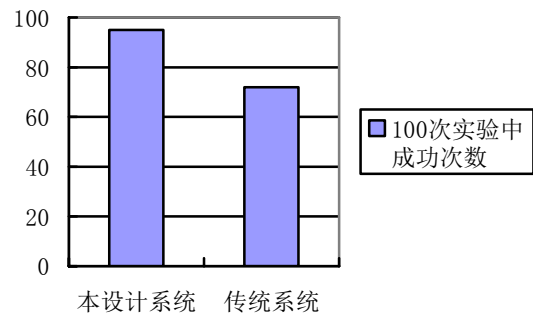


图 8 防盗报警准确率测试结果图
Fig.8 System energy saving effect test results

5 结束语

本文介绍的公寓安全防盗系统，在人员集中的集体公寓条件下，具有较强的抗干扰能力，设防状

态下防盗报警准确率在 90%以上。设防、撤防工作状态转换快速且准确，方便实用。而且，UPS 不间断供电电源为系统在夜间断电或人为断电的情况下提供持续的电能，使系统可以持续工作。此外，增加的烟雾报警、时钟日历、数字温度计等生活功能，为公寓防火和公寓生活提供了便利，具有很高的实用价值。

参考文献

1. 张春严, 张洪涛.UPS 蓄电池组的选型、计算、使用和维护[J].氯碱工业, 2008, 44(4): 4-6.
2. 刘千, 丁会柱, 吴晟睽. 基于 ARM 的智能化公寓安防测控系统设计[J]. 电子设计工程, 2011.7, 19(13):152-155.
3. 肖怀春. 基于 AT89S51 为核心的防火防盗报警器的研究与设计[D]. 江西: 江西农业大学, 2011.
4. 郭广灵, 吴惠云, 张月峰. 非接触式 IC 卡读写器设计[J]. 河南工程学院学报 (自然科学版), 2008, 20 (1): 28-31.
5. 郭天祥. 51 单片机 C 语言教程[M]. 北京市海淀区: 电子工业出版社, 2009. 12:147-152.

近红外脑功能成像系统的软件开发*

徐凤贺, 吴红梦, 谢燕妮

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院、测控技术与仪器, 吉林 长春 130000)

摘要: 随着科学技术的进步, 无损检测越来越受到人们的重视。近红外脑功能成像系统采用功能性近红外光谱技术 (functional Near-Infrared Spectroscopy, fNIRS)。fNIRS 是近几年发展迅速的一项无损检测方法, 它主要是利用血液的主要成分对 600-900nm 近红外光的良好散射性, 从而获得大脑活动时大脑皮层中的氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的变化情况, 从而推测认知活动相关的脑区及各脑区之间的相互关系, 应用于脑功能的各项研究。近红外脑功能成像系统分为硬件和软件两个部分。硬件电路用来发射近红外光并采集光经过大脑皮层后出射的光, 软件除了控制硬件电路, 还要对采集到的信号进行处理并通过修正的 Lambert-Beer 定律计算脑血流动力学参数, 并进行实时显示、记录、存储。

关键词: fNIRS; Lambert-Beer 定律; 脑血流动力学参数;

中图分类号: TP311.1 **文献标志码:** A

Software Development of Near Infrared Brain Imaging System

Xu Fenghe, Wu Hongmeng, Xie Yanni

(School of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130000, China)

Abstract: With the progress of science and technology, people pay more and more attention to nondestructive testing. Near Infrared brain imaging system using functional Near Infrared Spectroscopy (functional Near - Infrared Spectroscopy, fNIRS). FNIRS is a nondestructive testing method, developing rapidly in recent years. It mainly use good scattering property with 600-900 nm near-infrared light of the main components in the blood, gaining the brain activity of cerebral cortex of oxygen and hemoglobin and restore the change of hemoglobin, Thus speculated that cognitive activity related brain regions and the relationship between various brain regions, applied to the study of brain function. Near infrared brain imaging system is divided into two parts of hardware and software. Hardware circuit is used to launch near-infrared light and acquisition after cerebral cortex of emergent light. And software not only control hardware circuit, but also process the collected signal. Then, using the modified Lambert - Beer's law to calculate cerebral hemodynamic parameters, and to real-time display, record and store .

Key words: fNIRS; Lambert-Beer's law; Cerebral hemodynamic parameters;

0 引言

现代医学用的脑功能成像技术有很多种, 例如脑电图 (EEG)、高分辨率脑磁图 (MEG)、正电子发

射断层扫描技术 (PET)^[1]、脑功能磁共振成像 (fMRI)、近红外脑功能成像 (fNIRS)。EEG 易受过多电活动的干扰, 也受颅骨等的影响, 空间分辨率低。MEG 设备价格昂贵, 检查费用高。PET 设备复杂, 且成像速度较慢, 其设备及运行需要大量的费用和

*指导教师: 刘光达

项目类型: 创新项目

人员，致使PET的推广受到限制^[2]。fMRI时间分辨率较低、实验环境不适合幽闭恐惧症患者、系统造价高。fNIRS由于具有体积小、重量轻、成本低廉和时间分辨率高等优势而受到许多认知神经科学工作者的广泛关注^[3,4]。

fNIRS的应用主要有两方面，即脑功能与认知科学。在临床医学方面，如脑外伤颅内出血的监测和癫痫定位及病理研究属于脑功能方面，在阅读障碍中的应用属于认知科学方面。fNIRS以其实时性、无创性、便携性等特点在多个学科获得了广阔应用前景。尤其在外科工作中，它对于组织血、氧代谢的监测具有特殊意义，尤其在临床医学得到广泛应用^[5]。

1 脑外伤颅内出血的监测

颅类损伤的快速诊断和处理能很大程度上挽救该类病人，减少伤亡。近红外光成像技术通过对两侧颅脑组织吸收光量的对比即可判别该病症^[6]。

2 监测阅读障碍儿童

使用近红外光谱术研究了汉语阅读障碍儿童的在汉字语音和语义处理时左前额叶皮层活动。结果显示，在汉字阅读时，正常组儿童左前额叶的激活区域明显地大于阅读障碍组儿童的激活区域^[7]。

3 癫痫定位及病理研究

Watanabe等^[8]在对32名难治性癫痫病人进行脑血容量监测时发现，癫痫病发作时96%的病人病灶侧有明显的血流高灌注，因此Watanabe等认为可依赖fNIRS进行病灶定位。

4 运动脑功能研究

借助近红外光谱技术，考察运动中大脑皮层的血液动力学特征，有助于揭示运动中大脑皮层的功能性激活与运动的关系及其机制，为科学地制定锻炼计划、合理安排锻炼强度和提高了锻炼效果提供实证依据^[9]。

1 近红外脑功能成像系统简介

1.1 近红外脑功能成像的原理

功能近红外光谱(fNIRS)技术利用的是近红外波段的光对人体组织的良好通透性及不同组织分子在该波段的光学性质差异^[10]。在大脑皮层的组织中吸收近红外光的成分主要有水、氧合血红蛋白(HbO₂)和脱氧血红蛋白(Hb)，并且它们对不同波段的近红外光的吸收率不同，吸收曲线如图1.1所示

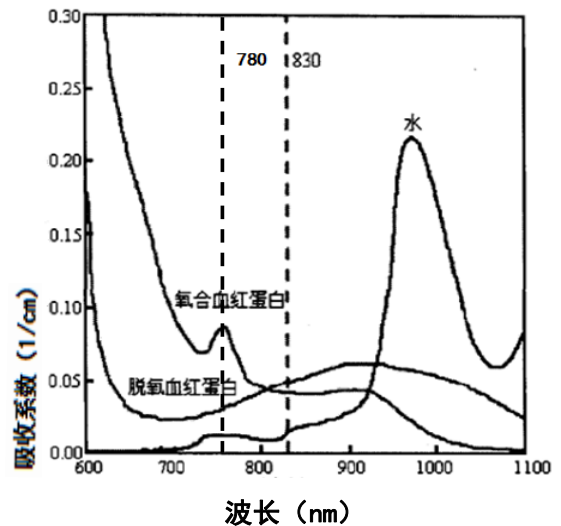


图1.1 HbO₂、Hb和水吸收近红外光的曲线图

Fig.1.1 The curve of absorb near-infrared light

水对近红外波段的谱相为观察血红蛋白提供了一种可作为背景的“光谱窗”，而且在这个光谱窗下，HbO₂和Hb对近红外光的频谱差异足够大。由图可以看出，氧合血红蛋白在780nm处有吸收的峰值，并且与脱氧血红蛋白的吸收率有明显差异。在830nm处氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白对近红外光的吸收率基本相等，并且水对这两个波长的近红外光的吸收系数极低，因此采用780nm和830nm的近红外光来进行检测。

头颅由外到内可以分为以下几部分：皮肤、颅骨、脑脊液、脑灰质和脑白质，如图1.2

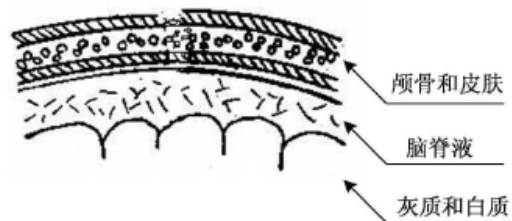


图1.2 头颅组成图

Fig. 1.2 The figure of head

灰质和白质里的氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的浓度反应大脑的活动情况，检测时是根据这两部分氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的变化量来分析大脑活动情况。检测时光是经过皮肤、颅骨和脑脊液再到灰质和白质，而皮肤、颅骨和脑脊液中分布的大多是静脉毛细血管，因此认为这部分对光的散射作用不会因为神经活动而变化，皮层组织散射导致光的衰减是恒定的。测量到的光信号的衰减是由于吸收引起的，这反映了大脑活动时氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的变化。因而通过测定大脑活动区域脑皮层散射光的强度，可以推知该区

域血氧和血容量的变化。这样就可以得到在进行认知活动时脑内氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的相对浓度变化，从而推测认知活动相关的脑区及各脑区之间的相互关系^[11]。因此研究者可以采用功能性近红外光谱技术获得大脑活动时血氧浓度的变化，进而研究认知活动过程的神经机制^[12]。

2 血氧参数监测的组织光学原理

利用近红外光对生物组织的血液动力学参数进行检测，实质是研究生物组织的光学性质。目前，对生物组织光学性质的研究，主要包括光在生物组织中传输规律和生物组织光学特性测量技术两个方面的内容^[13]。本章首先从光与生物组织的相互作用出发，介绍生物组织受到光作用时的现象，然后以此为基础介绍修正的 Lambert-Beer 定律，即光信号与脑血流动力学参数之间转换的算法。

2.1 光与生物组织的作用

在光子进入散射组织后，会经过数千次的随机散射才离开组织，其确切的路径无法准确得知，但能透过机率的计算推估其可能的路径分布，如图 2.1

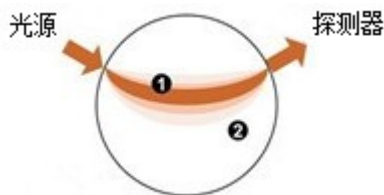


图 2.1 光子在组织中的传播路径

Fig.2 The photon propagation path in the organization
图中 1 的部分便是有很高的机率有光子经过，2 的部分则没有明显的可能性。

光与生物组织的相互作用形式以反射(折射)、散射以及吸收三个基本物理过程为主。依据反射(折射)、散射、吸收特性分析组织内不同物质的原子、分子结构、浓度等参数。在生物医学光子学研究中，处理光与物质相互作用时，通常主要考虑光的粒子性质，忽略光的波动性和偏振效应等^[14]。因此，分析光在生物组织中的传输过程，通常是以单个光子在组织内部被吸收或散射的形式进行的。

由于氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白在近红外光区域特有的光学特性，以光吸收为基础的测量方法中，这些分子浓度的变化也可以相应的监测得到^[15]。

2.2 生物组织光学的理论基础

在最初的研究中，生物组织光谱学把生物组织看成是均一、半无限的介质，应用朗伯-比尔定律(Lambert-Beer)描述光在生物组织中的传播。然而，

随着研究的深入，人们渐渐认识到生物组织是一个很强的光散射体，光在组织中经过多次散射才能从光源到达检测器^[16]。于是，一些学者提出了修正朗伯-比尔定律。下面对这两个理论作简要介绍。

1 朗伯-比尔定律

当光通过均一、无散射介质时，只考虑介质对光子的吸收，入射光强与出射光强之间的关系用朗伯-比尔方程^[17]描述为：

$$A = \ln(I_o / I) = m_a(l) r \quad (2-1)$$

其中 A 是光密度， I_o 为入射光强，I 为出射光强，

$m_a(l)$ 为吸光系数，g 为光源到检测器的距离。

$m_a(l)$ 可表示为

$$m_a(l) = \epsilon(l) C \quad (2-2)$$

(2-2)

$\epsilon(l)$ 为物质在特定波长 l 时的摩尔吸光系数，取决于光的波长和吸收物质的性质，C 为检测物质的浓度。

2 修正的朗伯-比尔定律

对于生物组织，属于高散射介质，基本的 Lambert-Beer 定律不再适用。因为光子在组织体内传输的路径长度由于多次散射作用而增加，从而极大地增加了光子被吸收的概率。为了体现散射对光损耗的影响，1988 年 Delpy 等^[18]提出了修正 Lambert-Beer 定律，即

$$A = \ln(I_o / I) = \epsilon(l) C DPF(l) + G \quad (2-3)$$

式中 G 代表背景所引起的损耗，DPF 称为差分路径因子，用来描述由于散射引起的光传播路径的加长，相关文献也给出了不同组织中 DPF 的取值范围^[19, 20]。在 DPF 和 G 值可以获取的情况下，可以采用多波长的吸收谱解算出待测物质的浓度。

2.3 血液动力学参数相对变化量的测量

在血氧检测中，因为需要检测的是 Hb 和 HbO_2 两种物质的相对浓度变化量，所以需要检测两个波长下的吸收光，根据修正的 Lambert-Beer 定律，列写方程组，然后首先选取一个基准状态或参考状态，检测其它时刻氧合血红蛋白以及脱氧血红蛋白浓度相对于参考状态的变化，即可求解出相

应的 Hb 和 HbO_2 的浓度变化量即

$$DA^{I_1} = (De_{HbO_2}^{I_1} + De_{Hb}^{I_1})DPF(I_1) r \quad (2-4)$$

$$DA^{I_2} = (De_{HbO_2}^{I_2} + De_{Hb}^{I_2})DPF(I_2) r \quad (2-5)$$

根据公式 (2-4) 和 (2-5) 计算出血液动力学参数相对变化量, 即

$$DHbO_2 = \frac{(e_{Hb}^{I_2} DA^{I_1} / DPF(I_1)) - (e_{Hb}^{I_1} DA^{I_2} / DPF(I_2))}{r(e_{Hb}^{I_2} e_{HbO_2}^{I_1} - e_{Hb}^{I_1} e_{HbO_2}^{I_2})} \quad (2-6)$$

$$DHb = \frac{(e_{HbO_2}^{I_2} DA^{I_1} / DPF(I_1)) - (e_{HbO_2}^{I_1} DA^{I_2} / DPF(I_2))}{r(e_{Hb}^{I_1} e_{HbO_2}^{I_2} - e_{Hb}^{I_2} e_{HbO_2}^{I_1})} \quad (2-7)$$

在实验中认为 DPF 的值近似相等, 则式 (2-6) 和 (2-7) 可简化为

$$DHbO_2 = \frac{e_{Hb}^{I_2} DA^{I_1} - e_{Hb}^{I_1} DA^{I_2}}{DPF r(e_{Hb}^{I_2} e_{HbO_2}^{I_1} - e_{Hb}^{I_1} e_{HbO_2}^{I_2})} \quad (2-8)$$

$$DHb = \frac{e_{HbO_2}^{I_2} DA^{I_1} - e_{HbO_2}^{I_1} DA^{I_2}}{DPF r(e_{Hb}^{I_1} e_{HbO_2}^{I_2} - e_{Hb}^{I_2} e_{HbO_2}^{I_1})} \quad (2-9)$$

由上述两式可知, 知道 DPF 和相关的 ϵ 值就可以计算出脑血流动力学参数相对变化量。

3 软件的设计

本章介绍近红外脑功能成像系统软件的设计思

路、实现方法、从规划程序结构到编写代码实现的整个过程中都贯穿着面向对象的设计思想, 从面向对象的设计思想出发, 从所处理的数据入手, 从宏观上阐述了应用程序框架, 然后按照从数据到功能模块的顺序介绍了程序自内向外的体系构建及其实现过程。

3.1 软件的结构分析

从功能上来讲, 软件可分为两个部分: 一部分是测控单元, 通过串口通信对串口的参数设置、控制硬件采集信号; 另一部分负责信号处理、计算、实时显示和存储。

1. 电路控制模块

PC 机通过串口调试助手和 USB 与硬件连接, 通过设置串口参数来控制硬件采集信号的端口、频率、校验位、数据位、停止位并通过发送命令来控制采集信号的开始和停止。

2. 电路检测模块

开机后检测串口连接情况, 以及所用端口是否正确。

3. 数据处理模块

硬件组采集的数据是两个波长的, 因此首先要进行数据的分离, 即将接收的数据分成两组分别存储。其次是数据的滤波, 然后通过算法实时的将光强信号转化为血液动力学参数变化信息。

4. 数据的显示

开始采集信号后, 实时显示采集到的数据。

5. 绘图

绘制出 Hb 和 HbO_2 的变化量随时间变化的曲线。

6. 数据及图像的存储

将实时测量的原始信号和绘制的 Hb 和 HbO_2 的变化量随时间变化的曲线进行存储, 供后续使用。

软件结构图如图 3.1

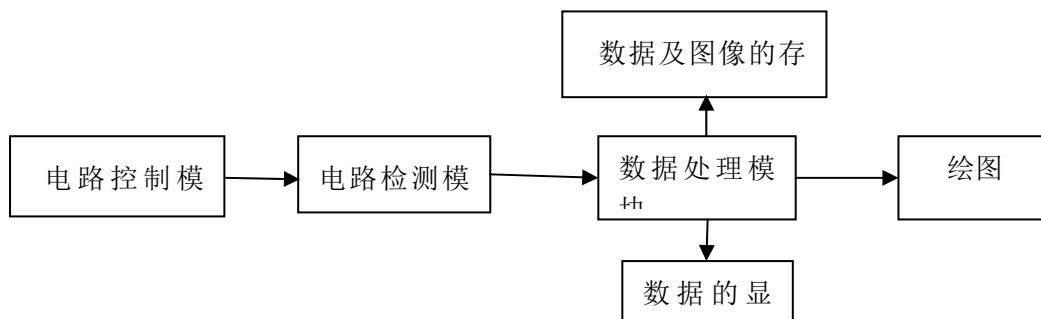


图 3.1 软件结构图

Fig.3.1 The software structure diagram

3.2 软件开发平台的选择

经过分析可知配套软件主要功能在于实时控制、数据处理、显示和存储, 我们选用 Matlab 和

Visual Studio 2010。

1. Matlab 与数据处理

Matlab 由美国 Mathworks 公司推出的功能十分

强大的数值计算和可视化软件，其应用范围涵盖了科学计算、算法开发、系统建模和仿真、数字图像处理等领域^[21]。Matlab 的数值运算、分析功能十分完善，其运算结果可直接在 Matlab 环境下以二维、三维甚至四维的图形表示；语法结构简单，开放性好；允许用户自己开发算法，并将其封装起来，同其它开发工具结合使用。

2. Visual Studio 2010 与可视化界面设计

Visual Studio 2010 是微软公司于 2010 年 4 月 12 日推出的开发环境。为了便于和硬件接口，并

较好的处理数据，选用 Matlab 对分离的数据进行后续滤波等的处理，而 Visual Studio 2010 用来设计可视化界面，实现串口通讯、数据传输、数据显示存储等功能，以及实现与 Matlab 的动态链接。

4 实验结果

基于 Visual Studio 2010 平台设计了操作界面，界面图如图 4.1

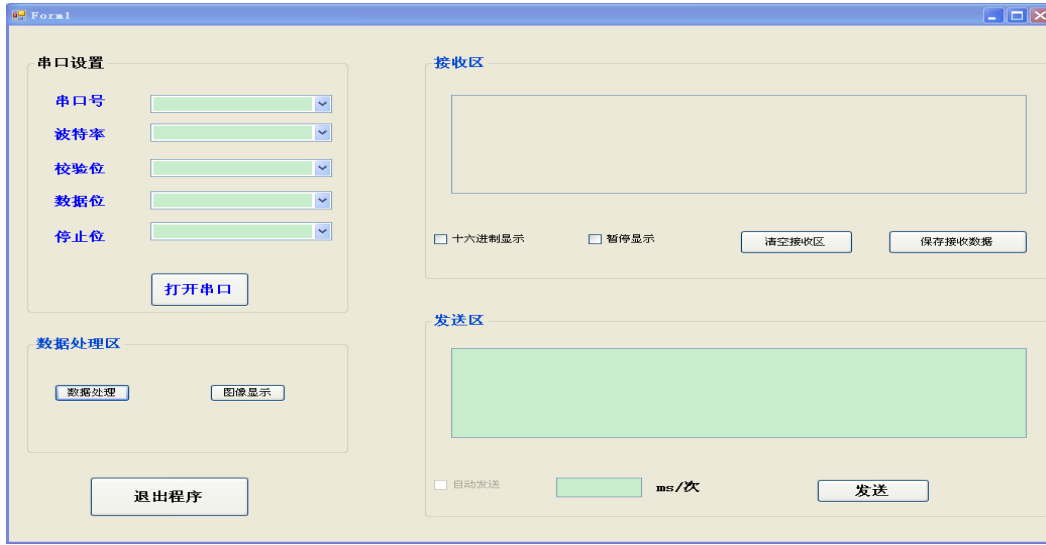


图 4.1 界面图

Fig.4 surface chart

由此图可以看出软件部分能对接收数据的串口、频率、校验位、数据位、停止位进行选择，对这些参数设置后点击“打开串口”键，若串口选择不正确或未与硬件电路连接，则会出现相应提示。接收区能实时显示接收到的数据，还能对接收的数据进行清空和保存操作。

系统完成后，通过软件助手同硬件进行连接，调试成功后以多名同学为实验对象进行数据采集，并绘制了氧化血红蛋白浓度的变化量和还原血红蛋白浓度的变化量随时间变化的曲线，以下是其中一名女同学（年龄 23、身高 160cm、体重 50Kg）曲线如图 4.2

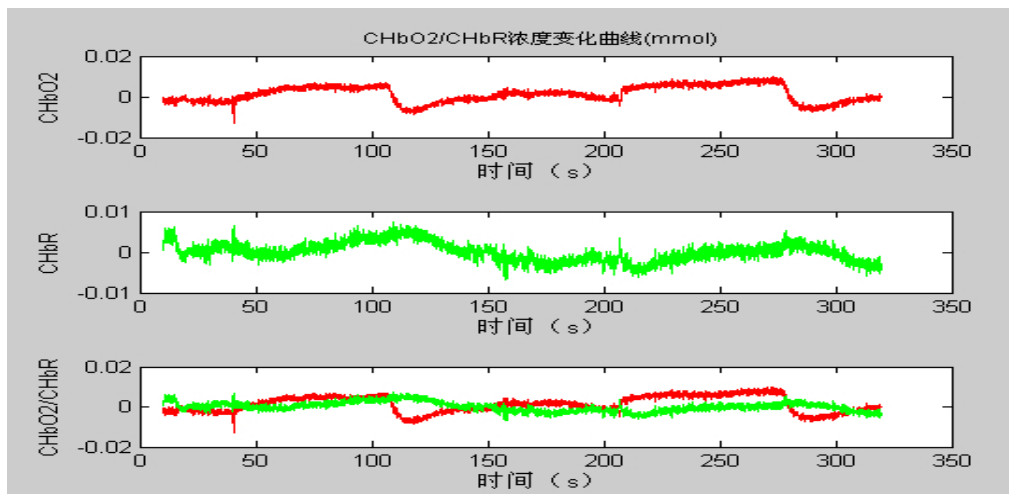


图 4.2 脑血流动力学参数变化量随时间变化的曲线

Fig 4.2 Curve of cerebral hemodynamic parameters variation

试验方法：在试验中，要求被检测的人员先正常呼吸，到100s时憋气，经过10s后正常呼吸。

实验结果分析：由上图可以看出，100s前，氧合血红蛋白浓度、脱氧血红蛋白浓度的变化均保持平稳；开始憋气即100s时，氧合血红蛋白浓度急剧下降、脱氧血红蛋白浓度都上升，由此可知是憋气时脑部缺氧；10s后停止憋气正常呼吸，氧合血红蛋白浓度开始缓慢上升，脱氧血红蛋白浓度开始缓慢下降，可见此时脑部逐渐得到供氧，最后两种血红蛋白的浓度都趋于平稳，表示大脑恢复到平稳。

5 结论

近红外光谱技术，作为非侵入式的光学监测手段，具有实时，可连续，等优点，在生物医学领域应用范围越来越广泛。大脑皮层某一区域在活动时，对应部分的血容将增加或减少，增加或减少的量反应了激活的程度。基于近红外光谱术的大脑功能监测系统能够实时，非侵入地测量大脑皮层中某个区域的氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的浓度相对变化量，从而对大脑皮层的功能活动进行监测，而且该系统方便携带，操作简单。因此可以用近红外光谱技术研究人脑在认知过程中脑区域功能活动情况。

本课题在分析了近红外光谱技术的发展、应用现状及临床应用的基础上，介绍了朗伯-比尔定律和修正的朗伯-比尔定律，即计算脑血流动力学参数相对变化量的计算方法。并从几大模块介绍了软件部分的功能，并根据功能选择相应的软件开发平台。用Matlab实现对数据的分离，计算氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的浓度并绘制脑血流动力学参数相对化量随时间变化的曲线。Visual Studio 2010用来设计操作界面、显示采集到的数据以及显示曲线图。

参考文献

1. 李文. 脑功能成像技术的研究[J]. 国外医学生物医学工程分册, 1988, 22(1):14-19
2. Barinag M. New imaging methods provide a better view into the brain. *Science*, 1997, 276(27): 1974-1976
3. Delpy T.Cope M.Quantification in tissue near-infrared spectroscopy. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*,

- 1997, 352: 649-659
4. Villringer A.Chance B.Non-invasive optical spectroscopy and imaging of human brain function. *Trends Neurosci*, 1997, 20: 435-442
5. 钱志余. 李匙韬. 功能性近红外光谱技术(fNIRS)临床应用综述[J]. *生命科学仪器*, 2013, 11(6), 45-52
6. 胡汉彬. 功能近红外光谱成像研究及应用. [D]. 中国科技大学硕士学位论文. 2010, 5, 12
7. 刘宝根. 周兢. 李菲菲. 脑功能成像的新方法-功能性近红外光谱技术(fNIRS)[J]. *心理科学*, 2011, 34(4):943-949
8. Izzetoglu M.Bunce S,C.Izzetoglu K.Onaral B.Function brain imaging using nearinfrared technology-Assessing cognitive activity in real-life situations.*IEEE Engineering in Medicine and Magazine*,2007,26(4),38-46
9. 蒋长好.近红外光谱技术在运动脑功能研究中的应用[J]. *生物物理学报*, 2010, 11(26), 983-991
10. 钱志余. 李匙韬. 功能近红外光谱技术(fNIRS)临床应用[J]. *生命科学仪器*, 2013, 06, 26
11. 甘茁. 近红外脑功能成像仪的研制及在阅读障碍研究中的应用[D]. 华中科技大学硕士学位论文, 2004, 4, 20
12. Wanatabe E.Nagahori Y.Mayanagi Y.Focus diagnosis of epilepsy using near-infrared Spectroscopy . *Epilepsia*, 2002,43:50-55
13. 张岩. 基于近红外光谱技术的脑功能活动信号提取方法研究[D]. 哈尔滨工业大学博士学位论文, 2011. 06
14. 赵军. 新生儿大脑组织光学参数的无损检测[D]. 清华大学生物医学工程学科博士学位论文, 2004:1-13
15. 王翔. 双波长脑血氧检测的信号处理及其临床应用[D]. 武汉大学硕士学位论文, 2005, 05
16. 吴欣. 基于近红外光谱技术的脑血氧检测技术

- 的研究 [D]. 哈尔滨工业大学硕士学位论文, 2010, 07
17. 石凡著, 黄润恒, 周诗健等译. 随机介质中波散射与传播的随机泛函分析 [D]. 复旦大学博士文, 2010, 04, 01
18. Delpy DT, Cope M, Vander Zee P, et al. Estimation of Optical Pathlength Through Tissue from Direct Time of Flight Measurements[J]. *Physics in medicine and biology*, 1988, 33(12):1433-1442
19. Duncan A, Meek J H, Clemence M, et al. Optical Pathlength Measurements on Adult Head, Calf and Forearm and the Head of the Newborn Infant Using Phase Resolved Optical Spectroscopy[J]. *Physics in Medicine and Biology*, 1995, 40(2):295-304
20. Van der Zee P, Cope M, Arridge S R, et al. Experimentally Measured Optical Pathlengths for the Adult Head, Calf and Forearm and the Head of the Newborn Infant as a Function of Inter Optode Spacing [J]. *Advances In Experimental Medicine and Biology*, 1992, 316:143-153
21. 尚蕾. 近红外脑功能成像算法研究 [D]. 山东大学硕士学位论文, 2008, 4, 5

多功能跑步检测仪设计*

刘洋, 李昕泉, 刘昕

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012;)

摘要: 为了使跑步者能够即时了解自身运动状态, 调整跑步计划, 以达到科学健身的目的, 设计了可穿戴式, 多功能的跑步检测仪。该检测仪以 STM32 单片机作为控制器, 通过加速度传感器, 光电传感器采集速度、脉搏等信息, 经过计算后显示给跑步者。经样机测试, 结果表明距离测量值误差 $\leq \pm 10\%$, 脉搏测量值误差 $\leq \pm 3$ 次/分。

关键词: 跑步检测仪; 加速度传感器; 光电传感器; 可穿戴式; 多功能

Design of the multifunction running test instrument

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

Abstract: In order to make the runners can immediately understand their state of motion, adjusting running program, and than achieve the purpose of scientific fitness, we design an wearable, multifunction running test instrument. The instrument based on STM32 single chip microcomputer as controller, through the acceleration sensor, photoelectric sensor acquisition speed, pulse and other information, and then through calculation by the display part of present to the runners. After prototype test, the results show that the measurement deviation less than $\pm 10\%$ distance, pulse measurement deviation $\leq \pm 3$ times per minute.

Key words: Running tester function; Acceleration sensor; Photoelectric sensor; wearable; multifunction

0 引言

以往人们在跑步时通常需要根据经验来调整跑步计划, 但在跑步过程中, 往往不了解自身身体状况, 从而导致过度疲劳, 这样不仅起不到健身作用, 反而不利于身体健康。目前市面上已有的速度检测设备, 大多为依靠 GPS 定位的手机辅助软件, 在小范围、短时间内测量精度不高, 而脉搏测量设备多为专业心率、血压测量仪, 以上两种设备均存在携带不方便、功能单一的缺点, 不适用于日常跑步健身。本文设计了一种能够测量速度、距离、脉搏等信息, 并通过计算反馈其他信息的可携带式的跑步检测仪。该设计通过加速度传感器捕捉运动信息, 通过光电传感器采集脉搏信息。通过加速度传感器捕捉运动信息得到跑步速度、距离等测量值, 其优点在于能够较精确的测量小范围内的运动状态, 可广泛适用于广场、运动场、篮球场等日常跑步场所。用光电传感器采集脉搏信息, 其优点在于体积小,

功耗低, 便于携带, 这样在跑步过程中或结束时可立即测量脉搏, 以便于了解身体状态。

1 系统总体设计

设计的多功能跑步检测仪由 STM32 单片机, MPU6050 加速度传感器模块, 脉搏检测模块, 键盘, 显示共五部分组成如图 1 所示。位于手腕部的加速度传感器对手臂动作进行判断, 从而记录跑步信息; 位于手指部分的光电传感器负责采集脉搏信号, 最后两信号经由单片机计算处理, 进行结果显示。

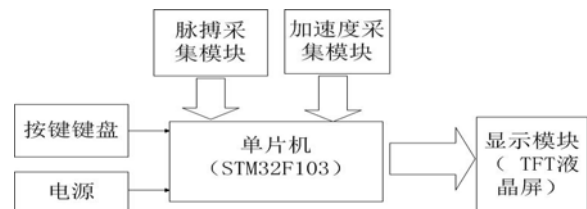


图 1 系统总体结构

Fig.1 System architecture

*指导教师: 凌振宝

项目类型: 创新项目

根据跑步距离长短，运动幅度不同制定了三种跑步模式，跑步结束后可选择进入脉搏测量模式。软件流程图如图 2 所示。

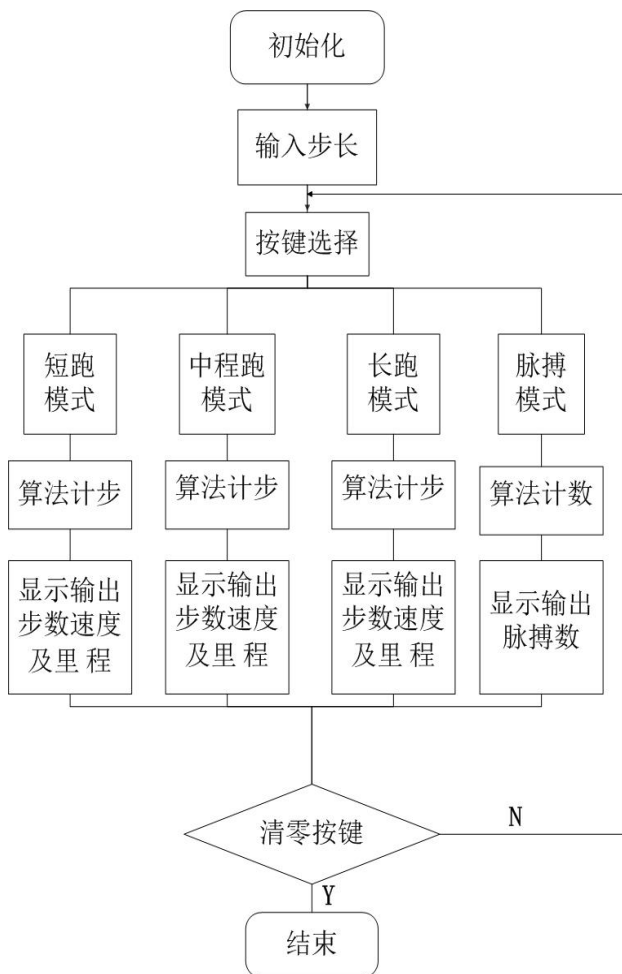


图 2 系统软件框图

Fig.2 System software block diagram

2 模块设计

2.1 加速度模块

本设计中加速度传感器选用 MPU6050 芯片，由主要 I2C 端口以单一数据流的形式，向单片机输出 6 轴采集数据。通过对 6 轴数据分析，判断手臂运动信息，进而判断跑步者运动情况，再经由单片机处理得出跑步者速度、距离等信息。算法流程图如图 3 所示。

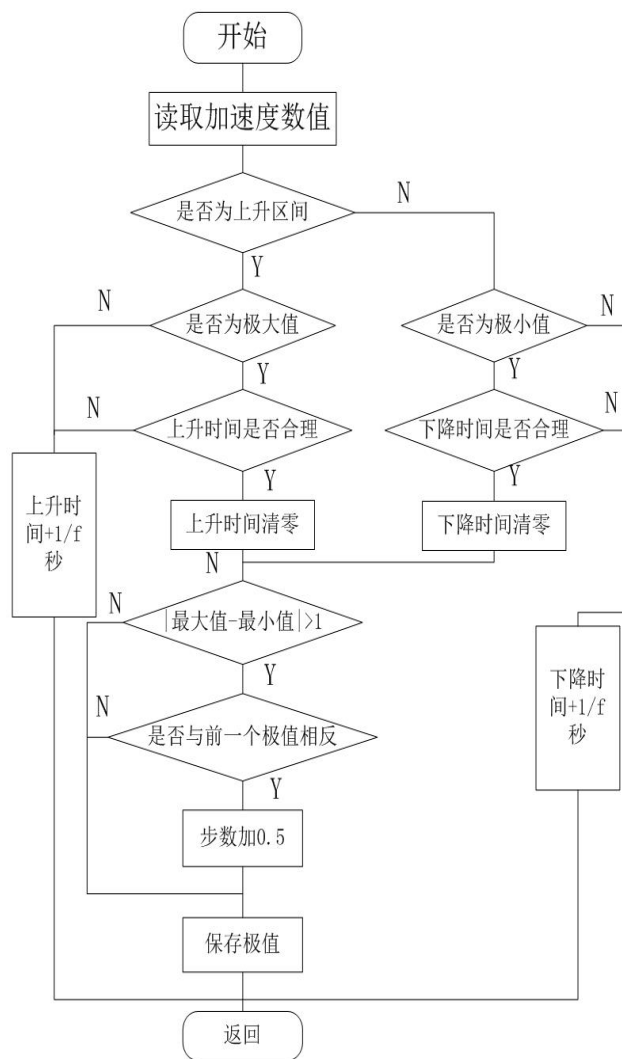


图 3 算法流程图

Fig.3 Algorithm flow chart

2.2 脉搏检测模块

其中非血液组织的光吸收量是恒定的，而在血液中静脉血的搏动相对于动脉血是十分微弱的，可以忽略。因此，可以认为光透过手指后的变化是仅由动脉血的充盈而引起的，那么在恒定波长的光源的照射下通过检测透过手指的光强可以间接测量到人体的脉搏信号。本设计中脉搏检测模块采用光电传感器，采集得到近似三角波的模拟信号，通过单片机将模拟信号转变为数字信号并进行进一步处理，最后经由单片机与速度信息整合，通过显示部分反馈给跑步者。

3 测试结果及分析

3.1 测试方案

测试人数为 9 人，将 9 名测试者分成 3 组，在测试场地跑道（400 米环形跑道）分别进行短跑（200 米）、中程跑（1000 米）、长跑（3000 米）的测试，

每组进行两次测试,跑步测试结束记录跑步者步长、步数、测试脉搏。

表 1 跑步测试 1

Table 1 Running Test1

	甲	甲	乙	乙	丙	丙
步长	1.8m	1.8m	2.0m	2.0m	2.1m	2.1m
步数	108	110	98	98	94	95
距离	194m	198m	198m	196m	197m	199m
米数	200m	200m	200m	200m	200m	200m
误差	2.8%	1%	1%	2%	1.5%	0.5%

表 2 跑步测试 2

Table 2 Running Test2

	甲	甲	乙	乙	丙	丙
步长	0.8m	0.8m	0.9m	0.9m	1.1m	1.1m
步数	1170	1157	1063	1089	878	895
距离	936m	926m	957m	980m	966m	984m
米数	1000m	1000m	1000m	1000m	1000m	1000m
误差	6.4%	7.44%	4.33%	1.99%	3.42%	1.35%

表 3 跑步测试 3

Table 3 Running Test3

	甲	甲	乙	乙	丙	丙
步长	0.5m	0.5m	0.5m	0.5m	0.6m	0.6m
步数	5870	5859	5823	5795	4889	4762
距离	2935m	2929m	2911m	2897m	2933.m	2857m
米数	3000m	3000m	3000m	3000m	3000m	3000m
误差	2.17%	2.35%	2.95%	3.42%	2.22%	4.76%

表 4 脉搏测试

Table 4 Pulse Test

	甲	甲	乙	乙	丙	丙
实际脉搏(次/分)	71	67	74	73	63	60
测试脉搏(次/分)	68	66	73	72	61	58
误差(次/分)	3	1	1	1	2	2

3.2 结果分析

测量结果如表 1-表 4 所示,在进行短跑测试时由于步长变化幅度不明显,故距离测量误差最大值只有 2.8%,中程跑测试时步长变化较大,误差最大值为 7.44%,长跑测试时步长变化幅度变化不大,误差最大值为 3.42%,脉搏测试误差最大值为 3 次/分钟。以上几组数据表明,跑步距离测试由于步长所引起的误差基本控制在 10%以内,脉搏测量误差控制 3 次/分之内,符合预期目标。

4 结语

本设计共有速度测量、脉搏测量两个部分,分别装有加速度传感器、脉搏传感器测量电路,每个部分相互独立,共同与主机相连,达到跑步者跑步速度和脉搏同时监测的目的。经过实际测试,本实验装置的跑步速度和脉搏误差可控制在 10%以内。此外,本设计体积小,便于携带,可用于小型运动场所,具有良好的市场应用前景。

本项目在完成阶段遇到了各种困难和挫折,经过小组人员共同努力,终于完成了多功能跑步装置的总体硬件连接和相关功能的实现。

参 考 文 献

1. 迟化, 贡娟, 方秀宠, 等. 我国学生耐久力下降与跑步教育缺失及对策研究[J]. 中国体育科技, 2008, 43(6): 91-94.
2. 郭永峰. 用心率测量监控运动训练强度方法的探讨[J]. 青海师范大学学报: 自然科学版, 2006 (3): 102-103.
3. 苏丽娜,董金明,赵琦. 基于加速度传感器的计步系统[J]. 测控技术, 2007, 26: 163 -165
4. 袁宪锋, 周凤余, 袁通, 等. STM32 和 iNEMO 模块的高精度计步器设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2013, 13(9): 42-45.
5. 石鑫栋, 程阳, 张钰, 等. 基于加速度, 光电传感器的健身伴侣的研究[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2011, 35(5)
6. 许睿. 行人导航系统算法研究与应用实现[D]. 南京: 南京航空航天大学 2008
7. 王丽英.基于光电技术的脉搏测量方法[J].传感器技术.2006,5(11):32-34.
8. 李平,刘明.数字式脉搏测试仪的设计[J].测控技术.2009,28(6):28-31.
9. 方祖祥.关于测量人体脉搏的研究[J]. 传感技术学报.2007,20(5):728-730.
10. 宋浩然, 廖文帅, 赵一鸣. 基于加速度传感器 ADXL330 的高精度计步器[J]. 传感技术学报, 2006, 19(4): 1005-1008.

光电传感器暗电阻测量系统*

许雅楠；徐文杰；肖武建

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 光电传感器暗电阻测量系统是基于 AT89C51 单片机和上位机的智能测量系统, 能够实现对光电传感器 P2532-01 不同温度下的暗电阻值的测量, 在计算机上显示不同温度所对应的暗电阻值。该系统分为三个模块, 电阻测量模块, 温控模块和通讯及数据处理模块。测量模块对传感器暗电阻和热敏电阻进行测量和通讯, 温控模块通过单片机 AT89C51 控制受控恒流源实现对传感器制冷的控制。通讯模块采用 MAX232 芯片进行单片机与上位机的串口通讯, 实现单片机与 PC 机间信息的传递, 上位机部分使用 Matlab GUI 软件制作用户界面显示数据, 并处理和存储。系统可测量范围: 电阻值 0-10 M Ω , 精度 $\pm 0.5\%$; 控制电流 0-1A, 精度 $\pm 10\text{mA}$ 。

关键词: 光电传感器 暗电阻 AT89C51 单片机 MATLAB GUI 串口通讯

Photoelectric sensor dark resistance measurement system

Xu-Ya'nan Xu-Wenjie Xiao-Wujian

(Jilin University Instrument science and engineer institute, Changchun 130022)

Abstract: Dark resistance is based on the measuring system of photoelectric sensor AT89C51 Intelligent measuring system of single-chip computer and PC can be achieved on the photo sensor P2532-01 dark resistance value measured at different temperatures, on your computer display dark resistance values corresponding to different temperatures. The system is divided into three modules, resistance measurement module, temperature control modules and communication and data-processing module. Measurement module of dark resistors and thermistors to measure the sensor and communication, controlled temperature controller AT89C51 module by single-chip microcomputer control of constant-current source for sensor cooling control. Communication module using the MAX232 chip realization of serial communication between PC and single-chip, to achieve information transmission between PC and single-chip microcomputer, data processing and storage, PC parts made using Matlab GUI software user-interface display and storage. System measurement range: 0-10 M Ω resistance value, accuracy $\pm 0.5\%$; 0-1A control current, accuracy of $\pm 10\text{mA}$.

Key words: Photoelectric sensor Dark resistance AT89C51 single-chip microcomputer MATLAB GUI Serial Communication

0 引言

我国是世界上光敏电阻的生产大国, 但生产设备和科技技术与国外仍有较大差距, 仍摆脱不掉长期沿袭的效率低下的手工工序。随着电子技术的飞速发展和对电子元器件性能的要求不断增强, 厂家必须能非常准确的给出自己产品的详细参数值, 以满足用户的不同需求。因此, 研究如何能更准确且快速的测量暗电阻的阻值是具有现实意义的。研制出一种新型的暗电阻测量系统对提高生产效率具有重要的意义。本文研究的光电

传感器暗电阻测量系统能够测量光电传感器在设定温度下的暗电阻值, 并在计算机上显示实际温度和其对应的暗电阻值。测量范围: 电阻 0-10 M Ω , 精度 $\pm 0.5\%$; 控制电流 0-1A, 精度 $\pm 10\text{mA}$ 。

1 总体设计

为了实现对设定温度下光电传感器暗电阻值的测量, 系统由上位机和下位机两部分组成, 上位机部分完成串口控制, 温度设定以及结果显示; 下位机由单片机完成温度的控制和暗点阻值的测量。上位机利用 MATLAB GUI 设计通讯模块, 下位

*指导教师: 王智宏

项目类型: 创新项目

机选取 AT89C51 单片机，根据功能划分为测量模块和温控模块，上位机与下位机间通过 RS232 实现信息交互。总体设计框图如图 1。

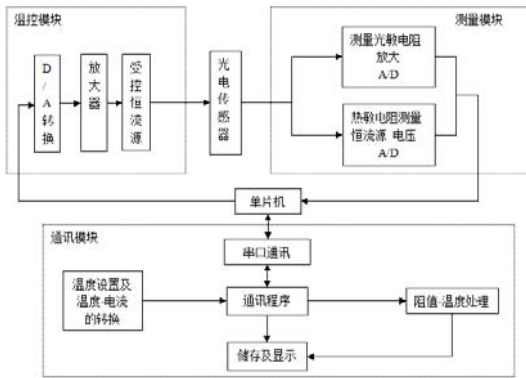


图 1. 总体设计框图

首先在上位机输入设定的温度值，换算成对应的电流值后通过串口发送给单片机来控制可控恒流源输出相应电流值，使光电传感器制冷达到设定温度。启动测控模块的两路 ADC 对热敏电阻和传感器的暗电阻值进行测量，测量结果发送回上位机，经过信号转换和处理后将实际温度值和相应的光电传感器暗电阻值显示在 MATLAB GUI 制作的上位机界面上。

上位机通讯模块主要实现单片机与 PC 机间信息的传递，通过 MATLAB 软件编程实现数据发送接收和处理，并设计 GUI 界面实现串口控制，温度设定及测量结果的显示。

下位机分为测量模块和温控模块。测量模块对传感器暗电阻值进行测量，并将结果发送至 PC 机，由转换放大电路，滤波器，A/D 转换，AT89S52 单片机和串口等组成。温控模块接收来自 PC 机的预设温度值，通过单片机 AT89C51 控制受控恒流源使光电传感器制冷，包括 D/A 转换电路，放大器电路及受控恒流源，通过控制 MOS 管的栅极改变恒流源电流输出。

2 上位机

2.1 应用界面设计

本系统软件部分使用 MATLAB GUI 开发用户界面，实现 PC 机与单片机间的信息交互，数据的处理以及数据显示。主要包括串口设置、温度值设定及结果显示，系统界面设计如图 2 所示。



图 2. 用户界面

串口设置包括串口打开和关闭，串口号，波特率，校验位，数据位，停止位的设置。发送区可将键入预设温度值，按发送键传至下位机调节受控恒流源。接收区显示热敏电阻值、实际测得的温度值及其对应的暗电阻值。通过编程设定内部算法进行温度-电流值及温度-电阻值的转换。

2.2 通讯协议

通信协议内容规定如下：速率为 9.6kbit/s，通信方式采用主从式，接发用查询方式。主机发送 06H 启动握手过程，询问从机是否准备就绪。从机回复 00H 表示可以接收数据，回 15H 表示拒绝接收。主机接收 00H 后发送数据，否则继续发送 06H 询问从机。从机接收完数据后，发 0FH 表示成功；FOH 表示错误，请求重发。主机接收 0FH 则结束通讯，否则重发，直至接收到 0FH。通讯流程图如图 3 所示。

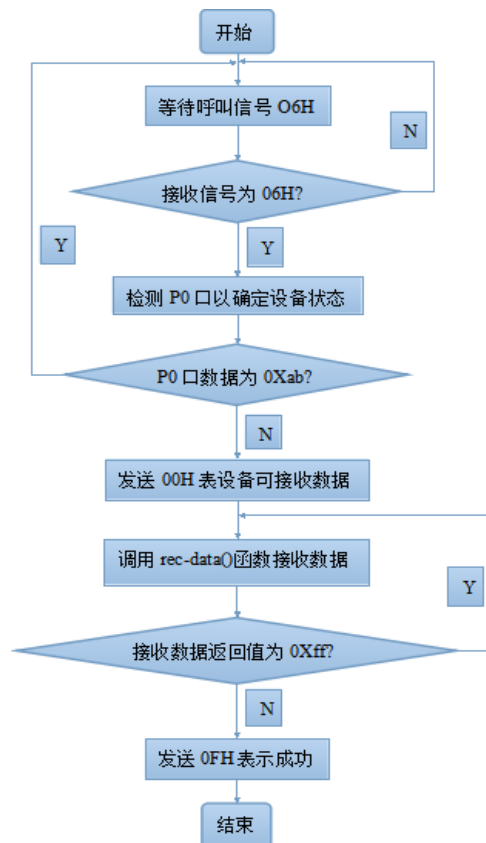


图 3. 通讯流程图

3 下位机

3.1 串口电路

系统由 PC 机设置温度值,控制下位机实现数据的采集,并将结果发送至 PC 机处理和显示,通讯方式为串行通讯,因此选用 MAX232 芯片进行电平转换。

RS-232 连接器选用的是 DB9,即 9 针串行口,其插针分别对应 RS-232-C 标准接口 9 根常用线。串口电路如图 4 所示。

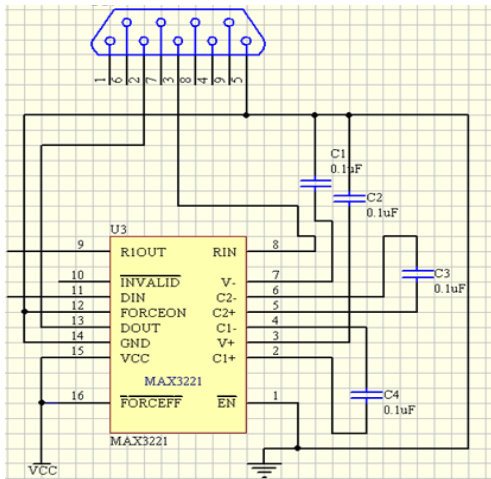


图 4. 串口电路图

3.2 温控模块

单片机收到上位机发送来的电流值信号后,经过数据处理,通过 DAC 转换成相应电压值输作为恒流电路部分的输入,恒流电路部分再将其转化为对应的电流值送入光电传感器的制冷管脚进行制冷直至达到相应温度。

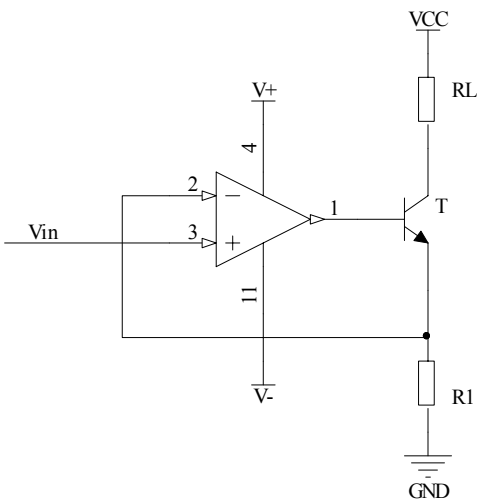


图 5 恒流电路部分

其中,硬件部分最主要的是恒流电路部分的设计,该部分由“运放+大功率 CMOS 管”的结构

构成。运算放大器采用 OP07,大功率 CMOS 管采用 IRF640。电路图如图 5 所示。

电流经过采样电阻 R1 转换为采样电压。采样电压作为反馈电压 Vf 送入运放 OP07 的同相端,与基准电压 Vin 进行比较,对栅极电压进行调整,从而对输出电流进行调整,使整个闭环反馈系统处于动态平衡中,以达到稳定输出电流的目的。

软件部分的设计主要包括上位机信息的接收,数据处理以及启动 DAC 进行转换,整个流程图如图 6 所示。

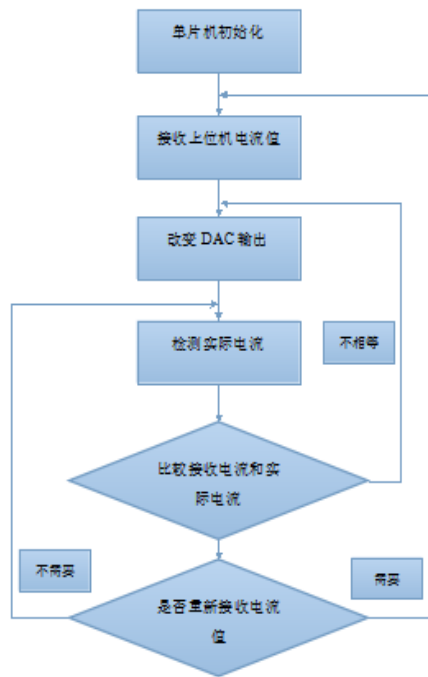


图 6 温控部分软件流程图

3.3 测量模块

3.3.1 数据采集电路设计

采集模块对光电传感器的 1、2 管脚和热敏电阻的 5、6 管脚进行信号的采集。传感器阻值范围为 7K 至 10M,热敏电阻阻值范围为 7K 至 200K。信号转换电路采用分压电路,在温敏电阻与传感器一端分别串行一个固定电阻,将传感器的电阻值转换成 0 至 5V 的电压信号。单片机 AT89C51 控制 ADC0809 同时对两路电阻的电压信号进行 AD 转换。

图 7 为数据采集模块硬件电路图。ADC0809 用通道 IN0 进行热敏电阻的数据采集,通道 IN1 进行传感器的数据采集,转换结果从 OUT1~OUT8 输出。由于 ADC0809 的内部输出电路有三态缓冲器,所以其八位输出数据线可以直接与单片机数据总线相连。它的通道地址选择信号 ADDB、ADDC 接地,而 ADDA 接到单片机的 P2.6 口,用于选择输

入的模拟量 IN0 和 IN1。由于 ADC0809 没有片内时钟，所以应该外加时钟，考虑到电路的简化，直接在 C 程序里用编程方式施加时钟信号。

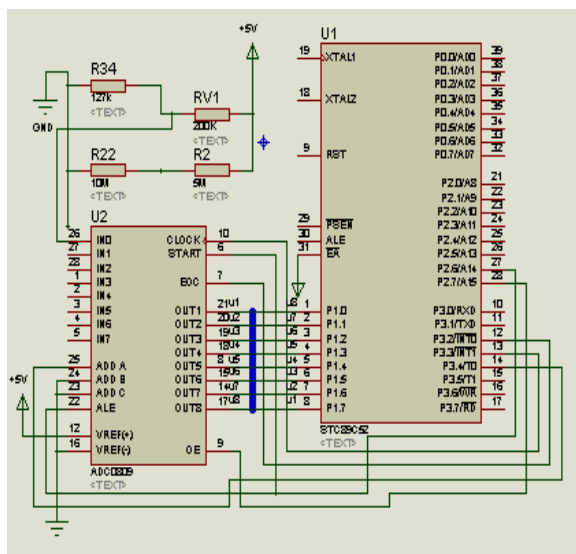


图 7. 数据采集模块硬件电路图

3.3.2 ADC 转换流程

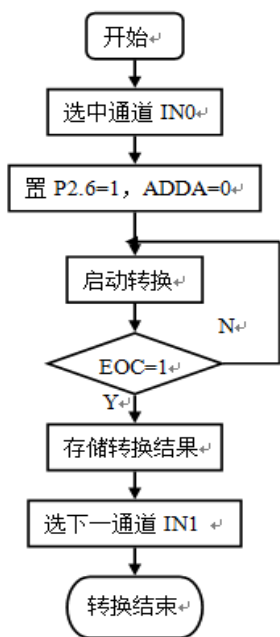


图 8. ADC0809 转换子程序流程图

AT89C51 的 p2.6 接到 AD0809 的控制信号 START 和 ALE 端，当接收到上位机指令时，开启通道 IN0 和 IN1 的 AD 转换，当单片机检测到 EOC 由低电平变成高电平时，AD 转换结束，这时使得 OE 为 1，单片机读取转换结果。图 8 为 ADC0809 转换子程序流程图。

4 测试结果及调试

系统测试数据如表 1、表 2 所示。

序号	设定温度 (°C)	理想输出电流 (A)	实际输出电流 (A)
1	20	0.080	0.09
2	15	0.180	0.18
3	10	0.280	0.28
4	5	0.380	0.39
5	0	0.480	0.49
6	-6	0.600	0.61
7	-10	0.680	0.67
8	-15	0.780	0.78
9	-20	0.880	0.88
10	-25	0.980	0.98

表 1. 温控模块测试数据

序号	显示暗电阻值 (MΩ)	实际暗电阻值 (MΩ)	显示热敏电阻值 (kΩ)	实际热敏电阻值 (kΩ)	显示温度 (°C)
1	10.47	10.24	198.35	195.2	-45.76
2	5.29	4.82	149.74	148.6	-39.29
3	2.14	1.97	99.99	99.3	-30.00
4	0.98	0.98	49.43	49.0	-13.78
5	0.46	0.48	19.39	19.5	7.75
6	0.08	0.10	9.67	9.92	23.78

表 2. 暗电阻测量部分测试数据

经过对实验数据的分析，系统可测电阻值 0-10 MΩ，精度±0.5%；控制电流 0-1A，精度±10mA。在本系统中，由于数据采集使用 8 位 ADC，精度勉强达到设计要求，如果使用 12 位 ADC，会有更好的效果。

5 总结

系统能够测量光电传感器在设定温度下的暗电阻值，数据通过 PC 机进行转换和处理，电脑界面显示实际温度及相应的暗电阻阻值。并在计算机上显示对应的热敏电阻值、实测温度值和其对应的暗电阻值。

为顺利实现系统各功能，将项目整体划分为三个模块进行制作，各部分功能实现后进行组装调试，调试过程中组员间配合默契，顺利完成作品。

参考文献

1. 元增民. AT89S51 单片机与 ADC0809 模数转换

- 器的三种典型连接 [J]. 长沙大学学报, 2005, 5:75-78.
2. 冯忠岭, 童英华, 陈学煌. ADC0809 在两路数据采集系统中的应用 [J]. 电子设计工程, 2011, 13:75-77.
 3. 乔建良. 智能光敏电阻检测装置研究与设计 [D]. 南京理工大学, 2006.
 4. 张国华. 高精度恒流源电路设计 [J]. 设计与工艺, 2001(8):37-39.
 5. 褚丹雷, 薛小龙, 胡国清. 基于 Matlab-GUI 界面的计算机控制系统设计及 Simulink 动态仿真 [J]. 探测与控制学报, 2002 年 01 期.
 6. 王战军, 沈明. 基于 Matlab GUI 的串口通信编程实现. 现代电子技术. 2010 年 09 期.

电子医生—基于视频的健康监护系统*

罗仨仨；董全睿；张蒙

(吉林大学 仪器科学与电器工程学院, 长春 130021)

摘要：伴随着医疗仪器的迅猛发展以及人们保健意识的增强，实时、方便的医疗器械越来越受到人们的青睐，同时中医现代化受到了广泛关注和研究，利用现代科技使祖国医学快速发展逐渐成为热门。本设计是基于视频采集，开发出一套家庭型的健康监护系统，系统包括以下功能：通过摄像头采集人脸信息，根据扫描人脸对光线吸收的情况，计算出心率；通过颜色特征提取和分类的算法对脸部颜色进行比较与选取，面部不同特征进行比较和组合，最后得出最优空间下的最优特征和算法的组合，建立利用计算机自动分析面部特征给出初诊结果的现代化中医诊断系统，实现肝病初步诊断的功能；通过摄像头测出身高。本系统体积小、智能化程度高，能够完成简单的健康监护。

关键字：电子医生 监护系统 健康 视频

Electronic doctor—Health care system based on video

Luo-Quanquan Dong-Quanrui Zhang-meng

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

Abstract: With the rapid development of medical equipment and the enhancement of people's health awareness, real-time and user-friendly medical devices are more and more popular among people of all ages. At the same time, the modernization of traditional Chinese medical science has received extensive attention. Using modern technology to enable rapid development of traditional Chinese medical science becomes popular. This design is based on the principle of video capture and develops a home-based health care system. It includes the following features. According to the absorption of light by the face captured by the camera, we can calculate the heart rate. It will compare and select face color, compare and combine different facial features by color feature extraction and classification algorithm to acquire combinations of characteristics and optimal algorithm for optimal space and finally establish a modern diagnosis system with function of preliminary diagnosis of liver disease. Height is measured by camera. This system is of small size and high intelligence, can achieve the basic health care.

Key words: electronic doctor monitoring system health video

0 引言

随着物质生活的改善，近年来人们对于健康的重视程度日益提升，健康与养生不再是富人的“专利”，平常百姓健康意识亦在不断加强。随着健康问题被关注，催生了健康监测设备的快速发展，越来越多的便携式、便捷式的健康监测设备走进了千家万户。通过对当前国内外研究的收集与整理，设计了一套基于视频的健康监护系统。

1 系统设计

1.1 设计目的

21 世纪，社会生活节奏不断提升，越来越多的职场人士乃至家庭主妇们处于亚健康状态的，在生活与工作双重压力之下健康隐患时常伴随。因工作和医院人满为患等因素的存在，难有及时就医的条件，因而便捷式的健康监护设备成了时代的新宠，成为了人们保护健康的“利器”。便携式健康监护设备一方面在于帮助普通非医护人员

*指导教师：李春生

项目类型：创新项目

及时掌握自身健康状况，另一方面在于帮助医护人员快速检测出病人的疾病隐患，为后期的治疗节省时间，尤其是大城市公立医院当中，每位医生的日接诊量都近乎于“超载”之中，而便捷式的健康设备就可以为其节省宝贵时间，可谓一举多得。

1.2 工作原理

系统通过视频等录像设备采集图像，获取基本信息，再对图像进行灰度图像预处理或数字化处理去除杂志，获取更加精确的信息，再通过系统内部程序进行相关数据的计算进而得出疾病的诊断或健康信息的呈现。如对于脸部信息的收集与处理中，根据扫描人脸对光线吸收的情况，计算出心率；通过颜色特征提取和分类的算法对脸部颜色进行比较与选取，面部不同特征进行比较和组合，最后得出最优空间下的最优特征和算法的组合，建立利用计算机自动分析面部特征给出初诊结果的现代化中医诊断系统，实现肝病初步诊断的功能。软件架构如图 1 所示。

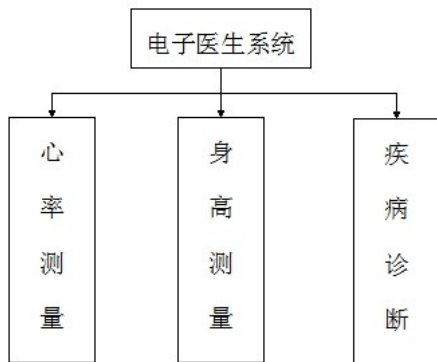


图 1 系统软件架构图

1.2.1 心率测量

人体心脏时刻处于跳动状态，每分钟跳动的次数也即为心率。由于血液经过阳光照射吸收一定的光线，在心脏跳动中血液经过血管流动的量会发生变化，血液吸收的阳光的量同样发生着改变。当吸收量增加时，表面皮肤反射的光线就相对减少，此时通过提取人体血液周期性变化的曲线即可以获知人体心率信息，而通过心率信息可以初步的判断健康状况。

首先，通过处理读出原始心电信号波形图，如图 2 所示。

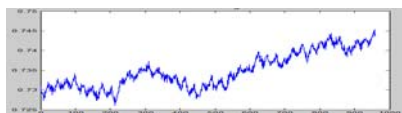


图 2 原始心电信号波形图

通过调用 MATLAB 中 wavedec 函数对心电信号

进行 8 级分解，得到信号

$s=D1+D2+D3+D4+D5+D6+D7+D8+A8$ 。从图 3 中我们不难看出，最高级 8 级分解后得到的尺度系数，即近似分量 A8 的频率范围与基线漂移的频率范围最为接近，所以使用 A8 作为基线漂移的估计，从原始心电信号中减去 A8 信号即可消除基线漂移。消除基线漂移后心电信号波形图如图 4 所示：

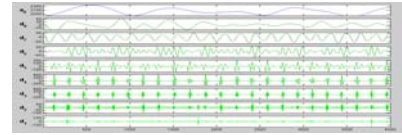


图 3 小波分解波形图

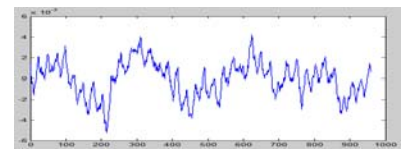


图 4 通过 WTSE 方法消除基线后心电信号波形图

我们以 sym10 为尺度函数对心电信号进行 8 级小波分解，获得不同频率的信号成分，根据心电信号的频率分布特性对心电信号进行重建。通过分解后信号进行频谱分析和多分辨分析对比，我们发现第 4 尺度信号成分的频率与心电信号频率接近，所以令重建信号 $s=D4$ 。通过对心电信号的小波分解与重建，可以减少其他干扰的影响。处理后的波形图如图 5 所示

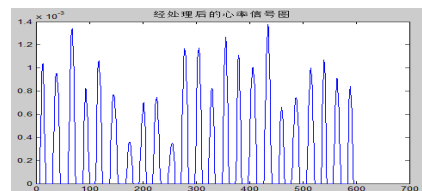


图 5 心率波形图

1.2.2 身高测量

本研究在前人研究的基础上，运用更多先进的图像处理算法将装置拍摄到的人体图像进行彩色图像灰度化处理、灰度图像预处理(包括灰度归一化、滤波去噪和图像锐化)、图像边缘检测、边缘细化、轮廓提取、人体特征点识别和提取等图像处理工作，来达到获取人体身高的目的。系统原理如图 6 所示：

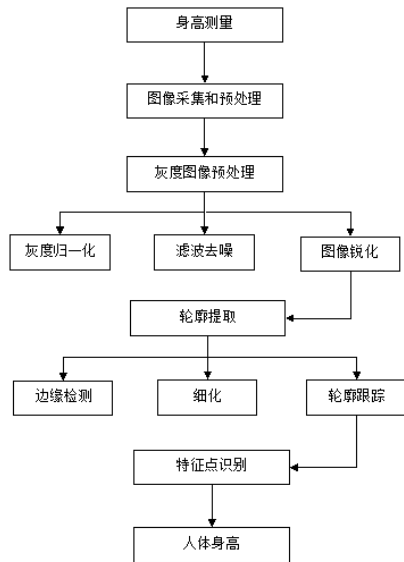


图 6 身高测量流程图

1. 2. 3 简单疾病检测

通过摄像头采集人脸信息，根据扫描人脸对光线吸收的情况，计算出心率；通过颜色特征提取和分类的算法对脸部颜色进行比较与选取，面部不同特征进行比较和组合，最后得出最优空间下的最优特征和算法的组合，建立利用计算机自动分析面部特征给出初诊结果的现代化中医诊断系统，实现肝病初步诊断的功能。面诊流程图如图 7 所示。

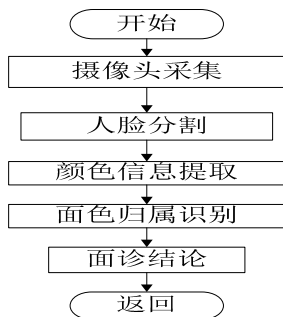


图 7 面诊算法流程图

信息的获取主要是在 HSV 空间下进行提取的特征值。HSV(hue, saturation and value)利用色调、饱和度、亮度来描述颜色，更加符合人眼视觉，为一个六角锥体模型，在该颜色空间中，H 为色调，用角度度量，取值范围为 0 度~360 度；S 为饱和度，取值范围为 0~1；V 为亮度值，取值范围为 0~1。

RGB 转换到 HSV 的公式如下：

将 RGB 的数值从 0~255 转换到 0~1，然后求这三个数中最大值 MAX，最小值 MIN，带入如下公式：

$$H = \begin{cases} (6 + \frac{G - B}{MAX - MIN}) \times 60, & \text{if } (R = MAX) \\ (2 + \frac{B - R}{MAX - MIN}) \times 60, & \text{if } (G = MAX) \\ (4 + \frac{R - G}{MAX - MIN}) \times 60, & \text{if } (B = MAX) \end{cases}$$

$$S = \frac{MAX - MIN}{MAX}, \quad V = MAX$$

我们预先在采集 50 组肝脏正常的人的人脸图像，提取其脸部颜色值后求平均值，并以此平均值为中心左右各拓展 5 各单位作为正常肝病的参考。然后采集被测的人脸进行比对，如果在此范围内则认为此人肝脏正常，否则认为肝病异常。

2 结论

本作品以中医电子化为应用背景，设计了一款方便，实用的家庭健康监护系统，摄像头测量身高，摄像头采集心率以及摄像头面诊，可以通过特定部位人脸颜色信息得出肝脏信息。作品的特点以及关键之处就在于利用摄像头得到一系列信息，如通过采集人脸光线的强弱，可以得到心率周期，以及通过定位可以得到人脸特定部位的信息，通过分析这些部位的颜色，然后和标准对比，可以得到有关肝脏的一系列信息，通过计算标尺和人身高的像素比例，可以测量出人体身高。本设计实现了基本的人体指标测量，完成了健康监护，并对未来的“电子医生”具有一定的借鉴意义。

参考文献

1. 戴汝为. 系统学与中医药创新发展[M]. 科学出版社, 2008-04-01
2. 陈新. 黄宛临床心电图学(第 6 版)[M]. 人民卫生出版社, 2009-01-01
3. 皋永利. 把脉中医 中医发展之思考[M]. 科技文献出版社, 2009-10-01
4. 邵毅, 于治楼, 张桂红. 远程健康监控系统的分析[J]. 《信息技术与信息化》, 2013(01)
5. 刘新华. 面部色诊及其现在研究概述. 长春中医药大学学报. 2002:18~47

基于巨磁阻传感器的铁磁体探测系统设计*

曹晓奇,宇文建国,毕明辉,指导教师:王应吉

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 本文利用巨磁阻效应,设计了一种基于巨磁阻传感器的铁磁体探测系统。该系统利用 msp430 单片机控制信号的采集并进行模数转换,输出结果。测试结果表明巨磁阻传感器能够初步满足人体内铁磁性物体探测,并且有效的避免了传统的线圈式探测方法产生的灵敏度低,抗干扰能力差等问题。

关键词: 铁磁体 巨磁阻效应 巨磁阻传感器 模数转换

A design of ferromagnetic detection system based on the giant magnetoresistive sensor

Cao Xiaoqi, Yuwen Jianguo, Bi Minghui, Instructor : Wang Yingji

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

Abstract: This article designed a ferromagnetic detection system based on the giant magnetoresistive sensor by use of giant magnetoresistance. The system uses msp430 microcontroller control signal acquisition and analog to digital conversion, then output the result. Test results show that the giant magnetoresistive sensor not only can satisfy the survey of ferromagnetic objects in human body, but also effectively avoid the problems of traditional coil detection method.

Key words: Ferromagnet giant magnetoresistance the GMR sensor ADC

对体内铁磁性物体的初步检测。

0 引言

核磁共振成像作为医院检查疾病时常用到的一种手段,它对疾病的诊断具有很大的优越性。但是在做核磁共振检查前必须确保体内没有铁磁性物体。如果体内有铁磁性物体,做核磁共振检查时会造成铁磁性物体移位,对患者造成伤害,体内铁磁性物体也会造成核磁检测结果失真。所以在核磁共振检查前对患者进行体内是否有铁磁性物体排查是非常必要的,尤其是对于无法明确表达的患者。

目前传统的体内铁磁性物质的定位方法都存在一些问题:利用 X 射线或 CT 等对体内铁磁性物体进行探测容易产生放射性大、实际操作不方便等问题,而市场上的手持式金属探测仪虽然携带方便,操作简单,但是用于体内铁磁性物体探测时灵敏度较低,不能满足实际应用^[1]。针对这些问题本文提出设计一个高灵敏度的铁磁性物体探查系统,实现

1 实验方案

1.1 方案比较

针对人体内铁磁体进行探测,要求灵敏度高,抗干扰能力强,尤其不能受到人体干扰。查阅了相关资料,总结出了下面四种金属探测器的设计方案,并对它们的优缺点进行对比:

① 自激感应式金属探测器,作为最传统的金属探测器,多用 LC 振荡器作为探测电路,优点是成本低;缺点是灵敏度低,容易出现误判。

② 差频式金属探测器,探头含有两个振荡器,利用混频器进行混频,然后取差频输出;优点是比单个探头探测灵敏度稍高,抗干扰能力稍强,缺点是易受环境影响。

③ 基于鉴相原理的金属探测器的设计,优点是采用相位锁定原理,提高抗干扰能力,缺点是分

*指导教师:王应吉

项目类型:创新项目

辨力不高。

④ 基于巨磁阻传感器的磁性物体探测器，能够满足分辨率高，抗干扰能力强，电路稳定，易于实现便携式的要求。本次设计采用这种方案。

1.2 巨磁阻传感器原理

所谓巨磁阻效应，是指磁性材料的电阻率在有外磁场作用时较之无外磁场作用时存在巨大变化的现象^[2]。当铁磁层的磁矩相互平行时，载流子与自旋有关的散射最小，材料有最小的电阻。当铁磁层的磁矩为反平行时，与自旋有关的散射最强，材料的电阻最大。

利用巨磁阻效应制作的巨磁阻传感器，其大致结构如下图所示：

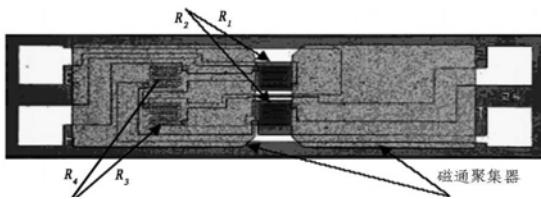


图 1. 巨磁阻内部结构

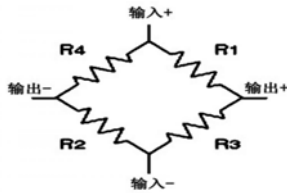


图 2. 巨磁阻结构原理图

从图中可以看出巨磁阻传感器内部是由 4 个相同的巨磁电阻 ($R_1=R_2=R_3=R_4=R$) 组成的直流电桥结构, R_1 和 R_2 由高导磁率的材料(坡莫合金层)覆盖屏蔽, 阻值对外磁场无响应, 受外部磁场影响的是巨磁电阻 R_3 和 R_4 , 于是就是构成了电桥的相对两臂同向变化。当传感器处于外磁场时, $R_1=R_2=R$, $R_3=R_4=R-\Delta R$, ΔR 为外磁场磁感应强度为 B 时, 单个巨磁电阻的电阻改变量^[2]。由此可得输出电压：

$$U_{out}=U_{in} \Delta R / (2R - \Delta R) \quad (1)$$

1.3 系统设计

铁磁体探测系统硬件构架采用模块化设计^[3], 总体设计系统框图如图 3 所示, 由传感器、信号调理电路、A/D 转换电路和显示报警电路组成。采用巨磁阻传感器检测的磁场信号, 由于采集到的电压信号比较微弱, 一般为毫伏级, 而 msp430 的 AD 转换器的分辨率为 6.1mV, 所以需要经过放大器放大成为 AD 转换器能够识别的电压信号, 放大后的信号含有高频和工频干扰, 需要再接入低通滤波器对接收到的电压信号进行滤波, 滤除高频和工频干扰后进入 AD 转换通道, 将模拟电压信号转换为数字电压信号, 再将数字信号通过 lcd1602 显示, 并判

断是否报警。

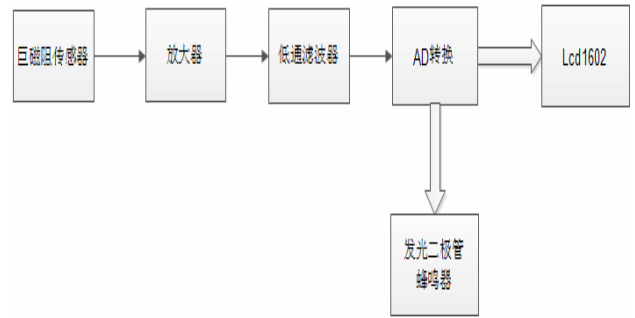


图 3. 系统总体框图

2 硬件设计

2.1 探头

铁磁性物质探测采用 AA 系列巨磁阻探头, 经放大、滤波等处理后显示。

AA 系列巨磁阻传感器作为多用途磁力计, 适用于较宽领域的应用。本实验选用 AA002-02 巨磁阻^{[4][5]}。

表 1 巨磁阻磁性特征表^[6]

部件编号	AA002-02	
饱和场强 (Gs)	15	
线性范围 (Gs)	最小	1.5
	最大	10.5
灵敏度 (mV/V/Gs)	最小	3.0
	最大	4.2
电阻 (Ohms)	5K ± 20%	
管芯大小 (μm)	436 × 3370	

巨磁阻传感器的灵敏度很高, 地磁场对其有一定的影响, 为消除地磁场影响, 加入调零电阻, 如图 4 所示, 调节调零电阻, 可以去除干扰。巨磁阻传感器的输出为惠更斯电桥差分信号, 大小为毫伏级信号。具体在 5V 供电下, 传感器的输出为:

$$\text{最小: } V_{out}=5 \times 3.0 \text{mV/V/Gs}=15 \text{mV/Gs}$$

$$\text{最大: } V_{out}=5 \times 4.2 \text{mV/V/Gs}=21 \text{mV/Gs}$$

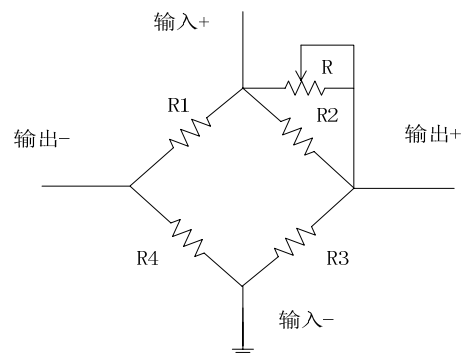


图 4. 调零电阻与传感器

2.2 仪用放大器

提高灵敏度，需采用放大器放大输出信号。AD620 为三运放仪表放大器，有较高的共模抑制比，具有温度稳定性好，放大频带宽，噪声系数小等优点，适合用来对磁阻传感器的差分信号进行放大^{[6][7]}。选取基本放大电路，如图 5 所示：

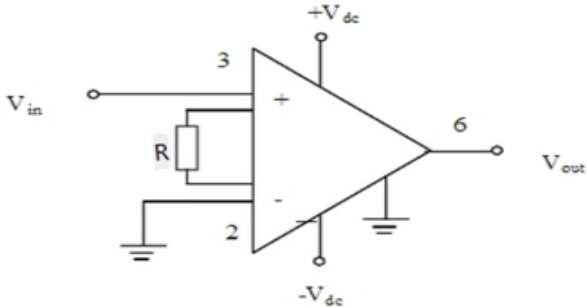


图 5. AD620 放大电路

AD620 采用双电源供电，+V_{dc} 和 -V_{dc} 选取 +5V 和 -5V 电源。电阻 R 可调，2 脚接地或负信号，3 脚接正信号。增益计算公式如下：

$$G = \frac{49.4k\Omega}{R} + 1 \quad (2)$$

$$R = \frac{49.4k\Omega}{G-1} \quad (3)$$

2.3 低通滤波器

由于周围环境中以及系统内部可能存在高频干扰和噪声，另外有些情况下工频干扰也会比较严重，所以滤波部分采用低通滤波器滤除高频工频干扰。通过查阅相关资料，相比于其他滤波器双二次型低通滤波器具有稳定性好，结构简单，便于调节等优点，所以采用双二次低通滤波器。原理图如图 6 所示：

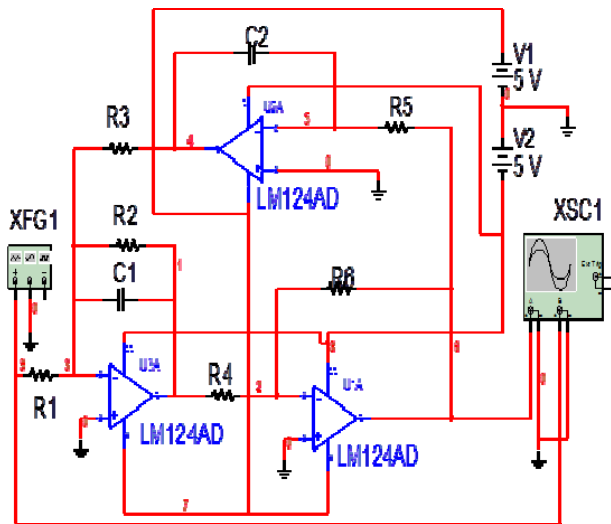


图 6. 双二次低通滤波器

由于巨磁阻传感器的输出信号低于 5Hz，外界噪声干扰主要为高频干扰和 50Hz 工频干扰，所以本系统的滤波电路输出频率定为 0-5Hz 即滤波器的截止频率为 5Hz。增益 A_{vp} 设为 1。根据表 2，电容 C 选择 0.1μF 瓷片电容。

表 2. 频率电容对照表

f _c (Hz)	1-10	10-10 ²	10 ² -10 ³
C	20-1μF	1-0.1μF	0.1-0.01μF
f _c (Hz)	10 ³ -10 ⁴	10 ⁴ -10 ⁵	10 ⁵ -10 ⁶
C	10 ⁴ -10 ³ pF	10 ³ -10 ² pF	10 ² -10pF

根据传递函数 $K(S) = \frac{A_{vp} w_n^2}{S^2 + \frac{w_n}{Q} S + w_n^2}$ 计算可

得 R₁=R₃=25K, R₂=R₄=50K, 这里 R₄ 取 51K 电阻, R₁, R₂, R₃ 使用滑动变阻器代替, 便于调节截止频率^[8]。运算放大器 A₁, A₂, A₃ 选用 OP27 精密运算放大器, 失调电压低至 25 μV, 最大漂移为 0.6 μV/° C, 完全能够满足设计需要。

2.4 AD 转换

mSP430 内置的 AD 转换器 ADC12 主要特点如下：

- (1) 12bits 逐次逼近型；
- (2) 最大转换速率大于 200kSPS；
- (3) 采样时间软件可控；
- (4) 可选择内部或外部参考电压；
- (5) 单通道单次、单通道连续、多通道单次、多通道连续等转换模式；
- (6) 16 个 12bits 转换结果存储寄存器。

根据实验可以计算出传感器输出的信号经放大器后输出电压变化在 0~2V 之间，选择内部 2.5V 参考电压，可以算出 AD 的分辨率为 2.5/4095=0.61mV。所以 AD 采用 430 单片机内部的 ADC12 满足设计需要。

3 软件设计

MSP430 系列单片机是美国德州仪器 (TI) 1996 年开始推向市场的一种 16 位超低功耗的混合信号处理器 (Mixed Signal Processor)。称之为混合信号处理器，主要是由于针对实际应用需求，把许多模拟电路、数字电路和微处理器集成在一个芯片上，以提供“单片”解决方案。

MSP430 单片机的主要特性：超低功耗，16bit RISC CPU，高集成度，容易使用，代码安全。系统软件采用 C 语言实现软件设计，主要完成 AD 转换，

电压值显示和报警功能。实现对铁磁体磁信号检测，显示和报警。工作流程主要为系统对输入电压信号进行AD转换，根据公式（4）：

$$N_{ADC}=4095 \times (V_{in}-V_{R-}) / (V_{R+}-V_{R-}) \quad (4)$$

将转换结果取平均值后换算成电压值通过lcd1602实时显示并判断有没有铁磁体决定是否要报警。具体流程图如图7所示：

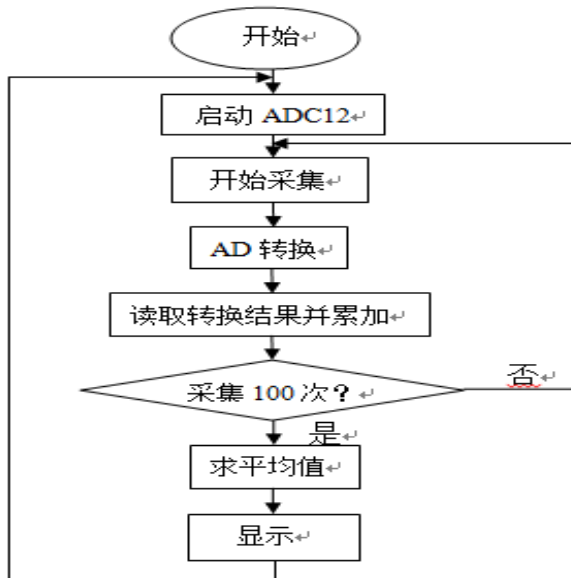


图7. 系统软件流程图

这里采样100次后取平均值主要是为了保证显示的稳定性，以及减小出现误报警的几率。

4 实测结果

为了验证系统可行性，选取不同大小的铁磁体在不同距离上对系统进行测试。

由于测试环境存在地磁场以及其他干扰，为了测量的准确，需要移动传感器找到相对磁场为0的点，这时电桥平衡。虽然传感器测的是磁场的绝对值，但是由于环境的限制，这里只能测的是磁场的相对值。

为了保证测试结果的全面性，需要选取大小不同和被磁化难易不同的被测物体进行测试，分别选取排针、小螺丝、一元硬币和订书钉进行测试。其中排针和一元硬币不容易被磁化，小螺丝和订书钉容易被磁化，所以可以观察到比较全面的测试结果。

测试结果如表3所示：

表3. 测试结果

被测体	排针 (1cm)			小螺丝 (2cm)			
距离 cm	1	2	4	2 (隔手指)	4 (隔手指)	3	5
显示电压 V	0.58	0.34	0.08	0.41	0.10	0.62	0.27
报警	是	是	否	是	否	是	是
被测体	订书钉 (1.5cm)			1 元硬币			
距离 cm	2	4	6	2 (隔手指)	4 (隔手指)	3	5
显示电压 V	0.70	0.35	0.09	0.45	0.15	0.75	0.30
报警	是	是	否	是	是	是	是

从表3可以看出，不同大小的铁磁体在不同距离上对磁场的影响不同，磁性越大，所产生的磁场越强，距离越近，对传感器的影响越大。传感器输出的结果与铁磁体的磁性大小和铁磁体与传感器的距离有关。

测试结果表明，巨磁阻传感器能够满足人体内铁磁性物体探测，并且有效的避免了传统的线圈式探测方法产生的灵敏度低，抗干扰能力差等问题。

5 结论

通过对铁磁性物质探测的基本研究，在微小

电磁干扰情况下，本实验能够检测出小范围内铁磁异物干扰时的电压变化，证明了应用巨磁阻传感器进行微弱磁场探测，可以进行隔离手指检测铁磁性物质的探测。此次设计就是要尝试将巨磁阻传感器应用在人体内磁性物体探测方面，为人体内磁性物体探测提供一种新的可能，提供了一个方向。

参考文献

1. 赵丽英. 体内金属物的无创探查系统[D]. 天津: 天津大学精密仪器与光电子工程学院, 2010.

2. 黄开连, 李 衡, 莫海云, 梁济仁. 巨磁电阻传感器的研究[J]. 广西民族大学学报, 2010 (16): p85-89.
3. 胡冠华. 基于磁阻传感器的铁磁体探测系统设计[J]. 传感器世界, 2011: p26-29.
4. [4]胡冠华, 赵晶亮, 张波涛, 薛丹丹 基于磁阻传感器的铁磁体探测系统设计[J].技术与应用.2011, (8).
5. 孙 剑, 方旭东 基于磁阻传感器的漏磁信号检测电路研究[J].黄山学院报.2011,13(5).
6. NVE AA002巨磁阻传感器[DB/OL].上海直川技术有限公司.http: //www.zc-sensor.com.
7. 王亚慧, 丁国平 低价格、低功耗仪用放大器 AD620 的特性及应用实例 [J]. 电子器件.1997,20 (1) .
8. 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, 2008: p413-p432.

具有运动干预功能的智能血糖仪*

任广安； 范文长； 韩冰

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院 651004 班)

摘要：研究表明，积极有效的运动以及合适的运动干预方案对糖尿病患者的康复具有显著的作用。基于对糖尿病患者血糖、运动情况以及运动干预情况及三者之间关系的研究，开发一种具有运动干预功能的智能血糖仪。采用 ADXL345 高精度加速度传感器，在 MSP430F449 单片机的控制下进行计步，同时使用葡萄糖氧化酶型血糖传感器及相关放大滤波电路，对人体血糖进行检测，并通过 Tc35i 模块实现计步数据和血糖数据的发送及运动干预方案短信的接收。样机试验结果表明，智能血糖仪实现了误差率 10% 以内的计步功能，并能进行误差率 15% 以内的血糖检测，两项检测后能通过 Tc35i 模块将检测数据发送至专家手机并接收专家的运动干预方案短信，从而实现了运动干预的功能。

关键词：计步器 血糖仪 运动干预

Intelligent Glucometer with Exercise Intervention Function

Ren Guangan; Fan Wenchang; HanBing;

(JiLin University CIEE Class 651004)

Abstract: The study showed that positive and effective exercise and proper exercise intervention program have a significant role for the rehabilitation of patients with diabetes. Based on the study of the relationship among blood sugar in diabetic patients, the exercise and the exercise intervention conditions, develop a blood glucose meter with intelligent exercise intervention function. Using high-precision ADXL345 accelerometer, pedometer performed under the control of the microcontroller 430. While use glucose oxidase type glucose sensors and associated amplifying and filtering circuit for blood glucose testing to achieve data-sending via Tc35i glucose module. Prototype test results show that the intelligent glucometer achieve step-counting function within 10% error rate, and blood glucose testing can be performed within 15% error rate. After the two tests, send data and get exercise intervention message from the expert via GSM module, enabling exercise intervention function.

Keywords: pedometer glucometer exercise intervention

0. 前言

积极有效的运动以及合适的运动干预方案对糖尿病患者的康复具有显著的作用，本文基于糖尿病病情与运动情况及运动干预情况三者之间关系的研究，设计并制作具有运动干预功能的智能血糖仪，能够将运动检测、血糖检测及运动干预功能相结合，辅助医师了解糖尿病患者的血糖与运动情况，并为其制定有效合理的运动干预方案。

本文首先介绍糖尿病病情与运动情况及运动干预情况三者之间关系的研究，其次详述了智能血糖

仪的硬件和软件设计方案，最后是此次设计样机的测试数据与测试结果。

1. 糖尿病病情与运动情况及运动干预

情况关系研究

在本次设计制作具有运动干预功能的血糖仪之前，为了制定更为合理的运动干预方案，使制作的计步器能够达到对糖尿病的治疗有一定效果的预期目标，以查阅相关文献的方式，调研了糖尿病病

*指导教师：李肃义

项目类型：创新项目

情与运动情况及运动干预情况的关系。

1.1 运动情况对糖尿病病情的影响

通过对相关文献资料的研究，关于运动情况对糖尿病病情的影响，总结出如下结论：

运动可降低血糖是运动效果的积累和胰岛素敏感性增强的综合作用。肌肉收缩需要大量的能量供应，尤其是运动中的骨骼肌，机体为了补充这种能量供应，肌肉、肝脏储存的糖原分解供能，直接降低血糖。葡萄糖是维持肌肉运动的“燃料”，饮食中的葡萄糖最终进入血液循环，肌肉之中也含有大量的葡萄糖，人体开始运动时，机体以肌糖原和肝糖原中的葡萄糖为“燃料”，当这些储备快用完时，肌肉就会摄入血中的葡萄糖供自己使用^[1]。因此，运动过程中血糖水平逐渐下降，锻炼结束后，肌体又在肌细胞及肝脏中储存葡萄糖，这时血糖又进一步降低，所以坚持长期运动有利于更好地控制血糖并降低患心血管病的风险^[2]。

同时，相关研究表明，步行等有氧运动对血糖的改善有良好的作用，能够使肌肉对糖的摄取、氧化和利用率提高，从而降低了血糖和糖化血红蛋白，减轻了慢性高血糖毒性^[3]。

关于运动强度的问题，调查结果显示，在早餐后 1 h，户外快步行走 3000 步，速度控制为 1000 步/10 min，能有效地调节和控制血糖水平，且患者耐受性良好，可作为 2 型糖尿病安全、有效的运动疗法^[4]。

1.2 运动干预情况对糖尿病病情的影响

关于运动干预对 2 型糖尿病患者空腹血糖的影响有 34 篇文献研究对此进行了报道，34 篇文献中共纳入研究对象 2697 例，其中运动干预组 1422 例，对照组 1275 例。结果显示：干预组与对照组相比，运动干预对 2 型糖尿病患者在降低空腹血糖方面更有优势；关于运动干预对 2 型糖尿病患者餐后 2h 血糖的影响有 27 篇文献对此进行了报道，27 篇文献共纳入研究对象 2124 例，其中运动干预组 1099 例，对照组 1025 例。结果显示：干预组与对照组相比，运动干预对 2 型糖尿病患者在降低餐后 2h 血糖方面更有优势；关于运动干预对 2 型糖尿病患者糖化血红蛋白的影响有 25 篇文献对此进行了报道，25 篇文献共纳入研究对象 1925 例，其中运动干预组 1025 例，对照组 900 例。结果显示：干预组与对照组相比，运动干预对 2 型糖尿病患者在降低糖化血红蛋白方面更有优势；关于运动干预对 2 型糖尿病患者 BMI 的影响有 18 篇文献研究对此进行了报道，18 篇文献共纳入研究对象 1462 例，其中运动干预组 776 例，对照组 686 例。结果显示：

干预组与对照组相比，运动干预对 2 型糖尿病患者在降低 BMI 方面更有优势^[5]。

以上文献调查结果显示，正确、合适的运动干预对糖尿病患者病情的治疗具有积极的作用。

2. 智能血糖仪整体结构

2.1 硬件结构

智能血糖仪的硬件主要分为以下几个部分，即电能供应模块、控制模块、计步模块、血糖检测模块、Tc35i 短信收发模块以及显示模块。其中，电能供应模块为整个系统提供不同要求的供电电压；控制模块用于协调、初始化其他模块；计步模块与血糖检测模块分别实现运动量与血糖的检测功能；Tc35i 模块用于运动干预的实现；显示模块用于系统工作过程中相关信息的显示。系统整体硬件框图如图 1 所示：

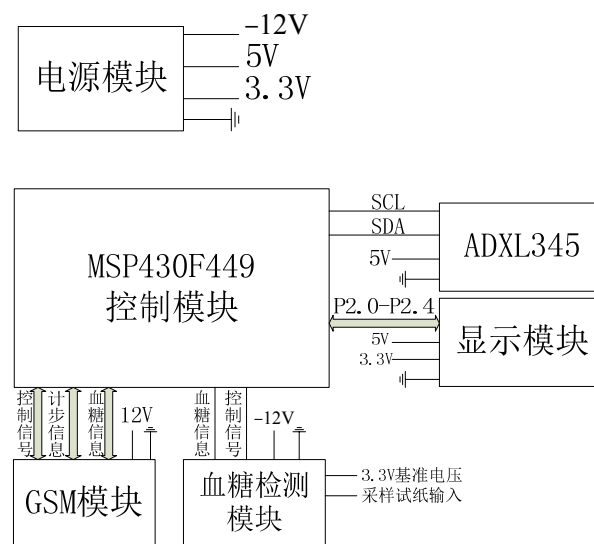


图 1. 系统整体硬件框图

Fig. 1 The overall system hardware block diagram

第一，电能供应模块以 12V 电池作为电能来源，通过 7805 和 1085 等降压、稳压芯片来实现不同电平之间的转换，为其他模块提供包括 12V、-12V、5V、3.3V 等在内的供电电压。电能供应模块原理图如图 2 所示：

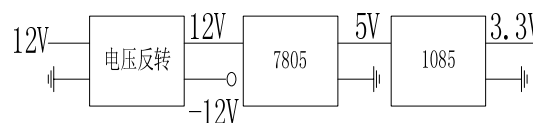


图 2. 电能供应模块原理图

Fig. 2 Power supply module schematic

第二，控制模块部分，选用 TI 公司生产的

MSP430F449 单片机对整个系统进行控制。选用此型号单片机的原因主要有以下几点：首先，430 系列单片机的低功耗模式适合于便携式设备中，处理器功耗（1.8V~3.6V，0.1~400 微安，250 微安/MIPS），串口线漏电流最大 50nA，能大幅度减少耗电量，延长电池更换周期。其次，MSP430 的瞬间响应特性是系统低功耗事件驱动方式的重要保证，如图 3 所示；最后，此单片机体积小，重量轻，能够满足便携式血糖仪的设计要求。

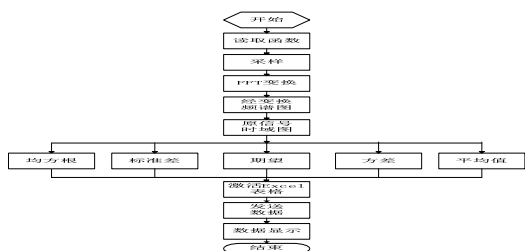


图 3. MSP430 瞬间响应

Fig. 3 MSP430 transient response characteristics

第三，计步模块的设计中，使用了 ADXL345 加速度传感器对人体步行时的加速度信号进行采集，通过计步算法实现计步的功能。ADXL345 是一款小而薄的超低功耗 3 轴加速度计，分辨率高(13 位)，测量范围达 ±16g。数字输出数据为 16 位二进制补码格式，可通过 SPI(3 线或 4 线)或 I²C 数字接口访问。ADXL345 非常适合移动设备应用。它可以在倾斜检测应用中测量静态重力加速度，还可以测量运动或冲击导致的动态加速度。其高分辨率(3.9mg/LSB)，能够测量不到 1.0° 的倾斜角度变化。ADXL345 的功能框图如图 4 所示：

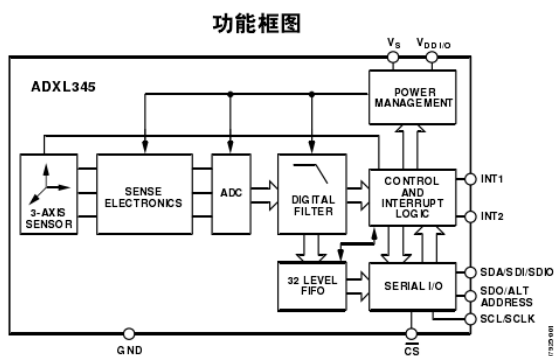


图 4. ADXL345 功能框图

Fig. 4 ADXL345 functional block diagram

第四，血糖检测模块中，弱信号处理电路分为信号的模拟放大和滤波两部分，血糖检测电路如图 5 所示。在电路的输入端加入 3.3V 基准电压。分压后送第一级放大器，第一级为电压跟随器，起隔离缓冲的作用，且具有一定的信号驱动作用。信号送入第二级放大电路，在工作电极上产生的电流经过电阻转化为相应的电压信号，再经过低通滤波器，

滤去高频干扰信号，从而为后端数据采集提供较好的信号。由于放大器同相端和反相端之间基本没有电流，因此保证了 A/D 采集到的电压是完全由工作电极产生的电流形成的，从而保证了系统的精度^[6]。

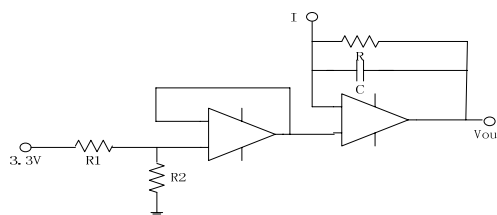


图 5. 血糖检测电路

Fig. 5 The glucose detection circuit

第五，短信功能的实现是通过单片机控制下的 Tc35i 模块来实现的。TC35i 是一个支持中文短信息的工业级 GSM 模块,工作在 EGSM900 和 GSM1800 双频段,电源范围为直流 3.3~4.8V,电流消耗：休眠状态为 3.5mA，空闲状态为 25mA，发射状态为 300mA(平均)，2.5A 峰值。可传输语音和数据信号,功耗在 EGSM900(4 类)和 GSM1800(1 类)时分别为 2W 和 1W，通过接口连接器和天线连接器分别连接 SIM 卡读卡器和天线。SIM 电压为 3V/1.8V，TC35i 的数据接口(CMOS 电平)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(Short Message Service,短消息),可通过 AT 命令或关断信号实现重启和故障恢复。

第六，显示模块的设计中，使用 NOKIA5110 液晶屏，该液晶屏专为移动设备设计，能显示汉字，英文，数字等 4 行数据，且功耗较低，对电能要求不高，满足此次便携式血糖仪的设计要求。

2.2 软件结构

2.2.1 系统整体算法流程

考虑到算法的复杂性，以及仪器在使用过程中各模块的应用顺序，在设计算法和编写程序过程中，将计步算法作为程序的主体，人为控制或由程序自行判断其他模块的响应时间。程序首先运行计步算法，当到达指定的步数时，调用短信模块，将运动情况发送到专家手机，并由开关控制血糖检测模块的调用与否，血糖信息检测完毕后，再次调用短信模块，将血糖信息发送到专家手机。此后系统进入等待状态，短信模块接收到医师的短信后，触发中断程序，将短信显示出来。系统算法流程图如图 6 所示：

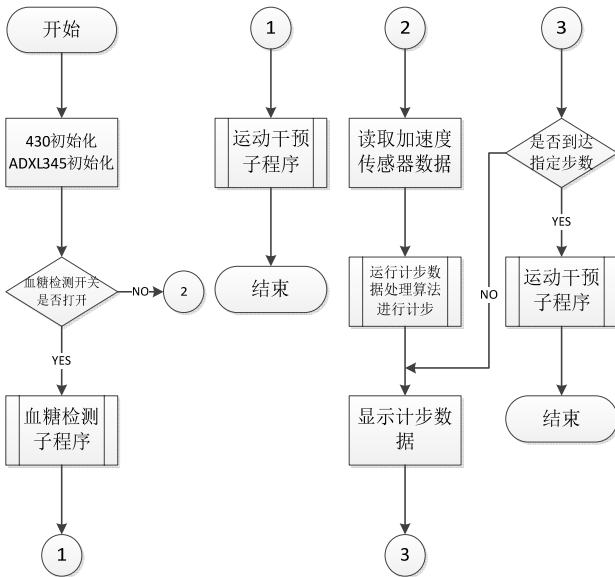


图 6. 系统算法流程图

Fig. 6 System algorithm flow chart

2.2.2 计步算法的设计与实现

人体步态研究:

在可用于分析跑步或步行的特征当中，我们选择“加速度”作为相关参数。个体的运动包括三个分量，分别是前向、竖向和侧向，如图 7 所示。ADXL345 检测其 x、y 和 z 轴上的加速度。计步器处于未知方向，因此测量精度不应严重依赖于运动轴与加速度计测量轴之间的关系^[7]。

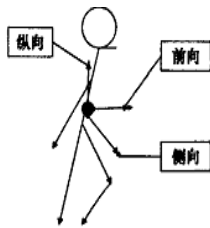


图 7. 跑步时的三个分量^[7]

Fig. 7 Three-axis when walking^[7]

行走时脚、腿、腰部、手臂都在运动,它们的运动都会产生相应的加速度,并且会在某点有一个峰值。从脚的加速度来检测步数是最准确的,但是考虑到携带的方便,我们选择利用腰部的运动来检测步数。图 7 显示了一名步行者的竖向、前向和侧向加速度方向。无论如何穿戴计步器,总有至少一个轴具有相对较大的周期性加速度变化,因此可以根据此原理进行计步。

计步参数的设计:

数字滤波器: 首先,为使信号波形变得平滑,需要一个数字滤波器。可以使用四个寄存器和一个求和单元,如图 8 所示。当然,可以使用更多寄存器以使加速度数据更加平滑,但响应时间会变慢。

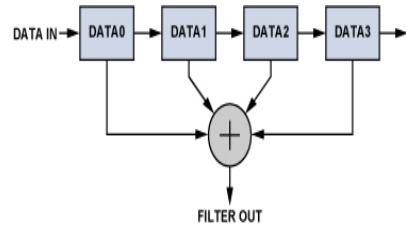


图 8. 数字滤波器原理图

Fig. 8 Digital filter

动态阈值和动态精度: 系统持续更新三轴加速度的最大值和最小值,每采样 50 次更新一次。平均值(Max + Min)/2 称为“动态阈值”,接下来的 50 次采样利用此阈值判断个体是否迈出步伐。

由于此阈值每 50 次采样更新一次,因此它是动态的。这种选择具有自适应性,并且足够快。除动态阈值外,还利用动态精度来进一步滤波。

步伐迈出的条件定义为: 当加速度曲线跨过动态阈值下方时,加速度曲线的斜率为负值(sample_new < sample_old)。

峰值检测: 计步器根据 x、y、z 三轴中加速度变化最大的一个轴计算步数。如果加速度变化太小,计步器将忽略。

计步器利用此算法可以很好地工作,但有时显得太敏感。当计步器因为步行或跑步之外的原因而非非常迅速或非常缓慢地振动时,计步器也会认为它是步伐。为了找到真正的有节奏的步伐,必须排除这种无效振动。利用“时间窗口”和“计数规则”可以解决这个问题。

“时间窗口”用于排除无效振动。假设人们最快的跑步速度为每秒 5 步,最慢的步行速度为每秒 2 步。这样,两个有效步伐的时间间隔在时间窗口[0.2 s - 2.0 s]之内,时间间隔超出该时间窗口的所有步伐都应被排除。

此算法使用 50 Hz 数据速率。采用寄存器记录两步之间的数据更新次数。如果间隔值在 10 与 100 之间,则说明两步之间的时间在有效窗口之内;否则,时间间隔在时间窗口之外,步伐无效。

“计数规则”: 用于确定步伐是否是一个节奏模式的一部分。计步器有两个工作状态: 搜索规则和确认规则。计步器以搜索规则模式开始工作。假设经过四个连续有效步伐之后,发现存在某种规则(in regulation),那么计步器就会刷新和显示结果,并进入“确认规则”工作模式。在这种模式下工作时,每经过一个有效步伐,计步器就会更新一次。但是,如果发现哪怕一个无效步伐,计步器就会返回搜索规则模式,重新搜索四个连续有效步伐。

2.2.3 血糖检测原理

应用葡萄糖氧化酶血糖传感器和与之配套的弱信号放大滤波电路对标准血糖溶液进行检测，得到放大电路的输出电压与血糖溶液浓度平均值之间的关系表，然后使用 MATLAB 的 cf tool 工具箱进行曲线拟合，从而得到拟合程度较好的二次拟合曲线公式。在仪器运行时，MSP430F449 单片机的 A/D 采样得到的放大电路输出电压经二次拟合的曲线公式计算后得到血糖值，并显示在屏幕上。

3. 样机实验结果

3.1 计步功能试验结果

计步模块测试数据如表 1 所示：

表 1. 计步模块测试数据

Table 1.The experiment result of pedometer module

	实际步数	测量步数	误差步数	误差率
1	10	14	4	40%
2	50	58	8	16%
3	100	110	10	10%
4	200	213	13	6.5%
5	300	530	30	6%

3.2 血糖检测功能试验结果

3.2.1 测试数据

血糖模块的测试结果数据，如表2所示：

表 2. 血糖模块试验结果

Table 2.The experiment result of glucometer module

时间 浓度	2s	4s	6s	8s	10s	12s	14s	16s	18s	20s	22s	24s	26s	28s	30s	32s	34s	Sum	ave.
23.7	112	116	110	103	97	92	88	85	83	81	79	77	75	74	73	72	71	1498	88.1
22.3	98	96	95	92	90	88	86	84	82	81	79	77	75	74	73	71	70	1411	83
16.6	96	96	90	85	80	76	74	72	70	68	66	64	63	62	61	60	60	1243	73.1
12.8	85	82	78	75	71	68	66	64	63	62	61	60	60	59	58	58	58	1128	66.4
8.3	70	69	65	60	57	55	53	51	49	48	47	46	45	44	43	42	42	886	52.1
7.3	62	59	56	53	50	49	48	46	45	44	44	44	43	43	42	42	42	812	47.8
3.6	42	39	35	34	32	32	31	30	29	28	28	28	27	27	26	26	26	520	30.6

*表中为开始检测后2s-34s 时间段内，不同标准血糖浓度 (mmol/L) 所对应的弱信号放大电路输出电压 (mV)

3.2.2 MATLAB 拟合曲线及函数表达式：

二次拟合曲线如图 9 所示：

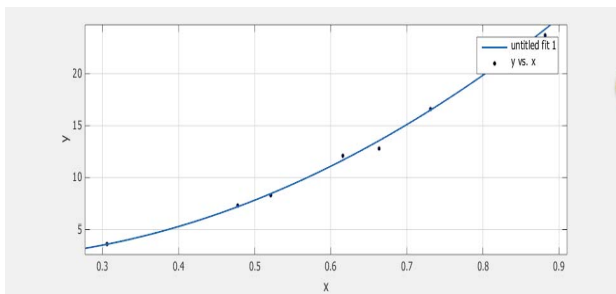


图 9. 二次拟合曲线

Fig.9 Quadratic curve fitting

由 MATLAB 的 cf tool 工具箱自动生成的函数曲线表达式如图 10 所示：

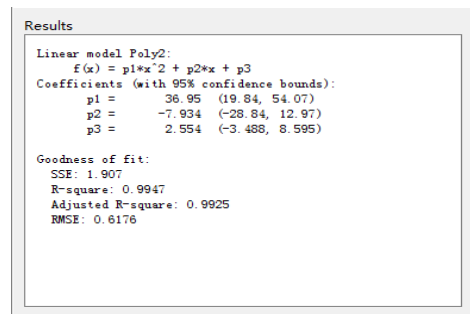


图10. 拟合曲线函数表达式

Fig.10 Curve fitting function expression

拟合曲线函数表达式：

$$F(x) = p_1 \times x^2 + p_2 \times x + p_3$$

$$p_1 = 36.95; p_2 = -7.934; p_3 = 2.554$$

3.3 运动干预功能试验结果

短信模块实验分为三部分，分别为血糖数据的发送和计步数据的发送及运动干预方案短信的接收。

血糖数据发送实验中，当血糖模块检测血糖完毕后，短信模块可以将血糖信息发送至专家手

机。

计步数据发送实验中，当计步数据到达指定步数后，短信模块可以将计步数据发送至专家手机。

两项数据发送完成后，模块将等待接收运动干预方案短信。接收到后，MSP430F449 单片机可以分析短信内容并将短信内容显示在显示屏上。

4. 结论

此次设计制作的具有运动干预功能的智能血糖仪，能够在 10% 以内的误差下进行较为精准的运动情况检测，并能够进行血糖的检测，测试误差在 15% 以内。同时，能够通过 Tc35i 模块将计步数据与血糖数据以短信的形式发送至专家的手机并随后接收专家的运动干预方案短信，从而实现运动干预的目的。

参考文献

1. 陆大江，何克新.运动健康管理系统的开发与应用[J].中华健康管理，2008，1:84-86
2. Lu DJ, Yoshino H, Ryo T.The effect of exercise prescription by applying walking intervention using pedometer for the non-insulin dependent diabetes mellitus patients among elderly in Shanghai, China [J].Japan Journal of Lifelong Sport,2007,5 (1) :35-43
3. 陆大江.不同健身方法对 2 型糖尿病患者的疗效研究[J].医学研究杂志,2012,41 (10): 51-56
4. 贾克宝，王立.不同步行强度对 2 型糖尿病患者餐后血糖的影响[J].Chinese Journal of Health Education，May 2013,29 (5): 450-452
5. 罗莎，罗珊，马爱霞.运动干预对 2 型糖尿病患者血糖控制效果的 Meta 分析[J].文献研究，2011，1: 32-42
6. 杨美玲.一种便携式无线血糖计步仪的研究与开发.吉林大学硕士学位论文.2013，6
7. 宋浩然，廖文帅，赵一鸣.基于加速度传感器 ADXL330 的高精度计步器[J].传感器技术学报. 2006,19 (4): 1005-1008

智能电动车跷跷板自动控制系统设计与实现*

万云霞^{1,2}, 张晓宇¹, 张洪飞¹, 胡海洋¹

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

摘要: 针对船舶、探月车等在特定环境下需保持自身平衡的问题, 提出一种基于自动控制技术寻求平衡的方法, 并利用智能小车、跷跷板实现。智能电动车跷跷板自动控制系统以 STC89C51 单片机作为控制处理芯片, 以智能小车为运动载体, 辅以加速度传感器、HC-SR04 超声波传感器等感应小车的运动状态及跷跷板角度信息, 调整两车在跷跷板上的运动状态, 达到保持平衡的目的。仿真结果与实验表明: 该系统可在预设时间内自动达到平衡状态。

关键词: 自动控制 智能小车 角度传感器 超声波传感器

Automatic Controlling System of the Intelligent Electric Car on the Seesaw

WAN Yunxia^{1,2} ZHANG Xiaoyu¹ ZHANG Hongfei¹ HU Haiyang¹

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

Abstract: Aiming at the ships and moon exploring vehicle is difficult to balance in particular environment, we design a set of electric vehicles on the seesaw automatically and put forward a method based on automatic controlling theory, and through the way of theory and experiment verified the feasibility of it. Automatic controlling system of the intelligent electric car on the seesaw is based on 51 microcomputer, use the intelligent vehicles as the motion carrier, assisted the sensor of acceleration HC-SR04 diastimeter to reaction the state of motion and the slant motion on the seesaw, adjust the state of motion between the two cars on the seesaw to achieve the goal of balance. The simulation result and experiment indicated that the system can keep balance automatically in a preset time.

Key words: Automatic control Intelligent car Angular transducer Ultrasonic sensor

0 前言

现今生产、生活中平衡控制的重要性日益凸显, 很多大型设备、装置在工作时都要求保持平衡。例如, 飞机飞行时受到自身配重、气流等影响会使飞机无法平衡, 如不能保持平衡, 飞机的速度会发生变化, 并绕重心转动, 不利于安全飞行。智能电动车跷跷板自动控制系统以小车为载体, 利用自动控制技术^[1], 通过循迹、测距、显示、控制等模块的共同作用, 根据采集到的跷跷板倾角信息控制小车的运行状态, 最终使系统平衡。

该系统就平衡性的保持及调整这一问题, 提供了一种可行的方案。

1 整体设计

智能电动车^[2-3]跷跷板自动控制系统是以自动控制技术为理论基础, 通过以下硬件模块实现: 电源模块、电机驱动模块、循迹模块、显示模块、侧倾角模块、超声波测距模块、语音模块。图 1 为系统整体原理图。

*指导教师: 万云霞

项目类型: 创新项目

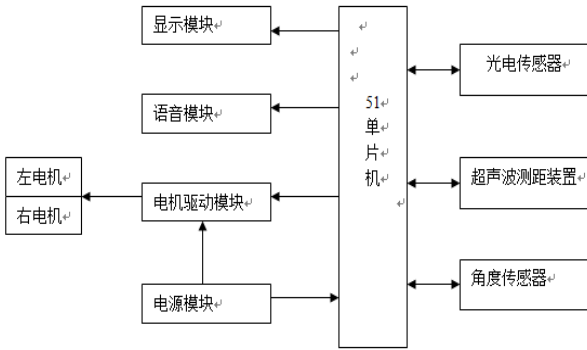


图 1 整体硬件架构图

智能电动车跷跷板自动控制系统寻求平衡的核心为测倾角模块，它将采集到的跷跷板倾角信号传递到单片机中，单片机根据所得信号对小车的运行状态进行判别，来控制小车的运动，直至系统达到平衡。循迹模块保证在寻求平衡时小车可沿直线行进，测距模块保证小车不会相撞。图 2 为系统寻求平衡的原理图。

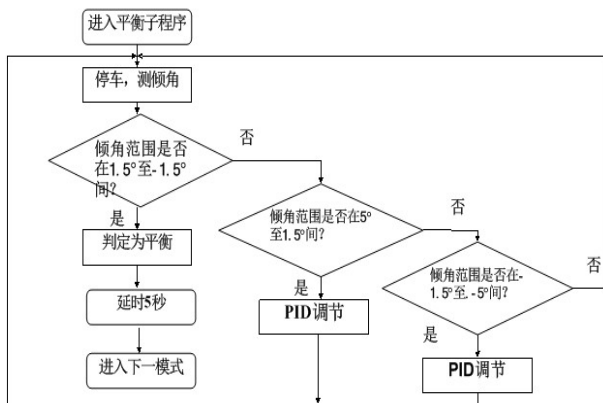


图 2 寻求平衡原理图

2 模块设计

2.1 电机驱动模块设计

驱动部分是智能电动车跷跷板自动控制系统最为基本的部分，该部分采用 L298N 来实现。图 3 为 L298N 驱动电路。

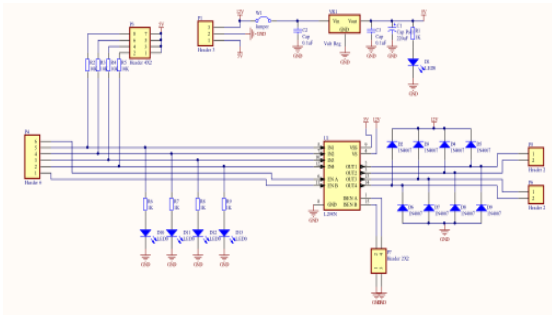


图 3 L298N 驱动电路

驱动方式如表 1 所示：

表 1 驱动方式

	左前	右前	左后	右后
前进	1	1	0	0
后退	0	0	1	1
停止	0	0	0	0
左前转	0	1	0	0
右前转	1	0	0	0
左后转	0	0	0	1
右后转	0	0	1	0

表 1 中，第一列表示小车运动的方式，第一行中“左前”表示电机驱动小车左面的车轮向前运动，“右前”、“左后”、“右后”表示电机相应的车轮运动方向。“1”表示电机得电工作在该状态，“0”表示电机不得电。以小车前进为例：电机驱动小车左、右车轮均向前运动，则小车就会沿直线前进。

2.2 循迹部分设计

循迹部分功能由光电对管^[4-6]加以实现，其原理图如图 4 所示。

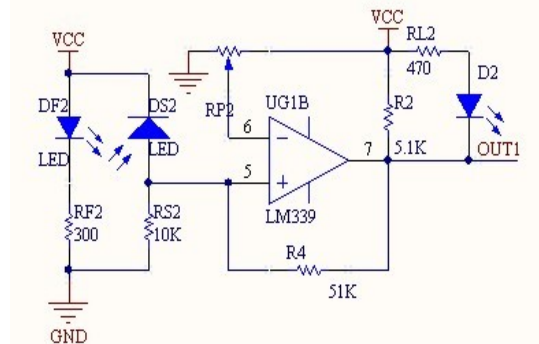


图 4 光电对管原理图

其中 DF2 为红外发射管（淡蓝色管），DS2 为红外接收管（黑管）。其工作原理如图 3 所示，图 5 为循迹示意图。

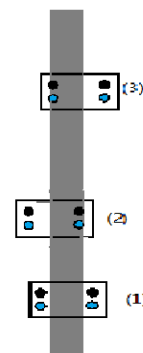


图 5 循迹示意图（注：1 直行，2 右转，3 左转）

小车循迹时有三种状态：左偏、右偏以及未偏离轨道。采用 51 单片机根据光电对管所返回的数值，判断小车处于哪种状态，然后由单片机控制控制小车动作，一段时间后重新采集小车状态，再调整小车动作，如此循环不断调整使小车能实现循迹功能。

图 5 中灰线代表所要行驶的轨迹，黑色矩形代表小车，两侧的圆圈代表两对红外对管（黑色为红外接收管，蓝色为红外发射管）。以右转为例，如图 5 中（2）所示的情况，小车向左偏离了轨道，右侧的光电对管检测到了黑线，将信号传入单片机，单片机根据所得信号控制驱动电路使小车向右运动，回到轨道上。小车循迹流程图如图 6 所示。

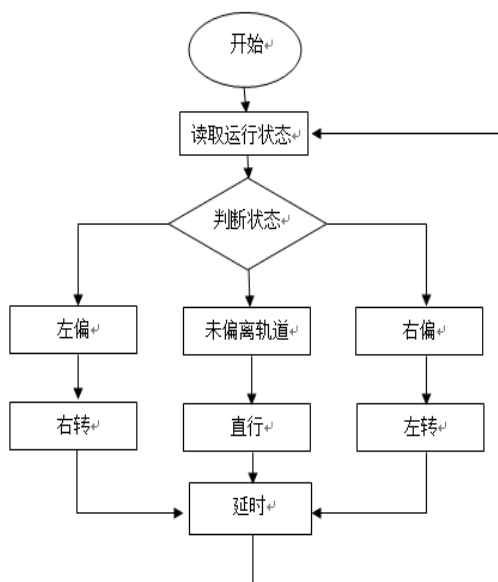


图 6 循迹流程图

2.3 超声波测距模块设计

测距部分使用 HC-SR04 超声波测距仪^[7-9]，测距时，先开始计时，然后判断是否检测到了回波信号，如果没有则计时清零，如果检测到了回波信号，读取此时的时间，然后用改时间乘以声速就是待测物与小车间的距离。超声波测距原理图如图 7 所示。

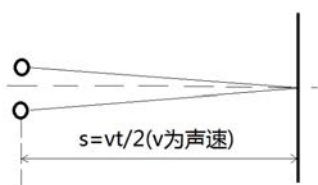


图 7 超声波测距原理图

超声波测距流程图如图 8 所示。

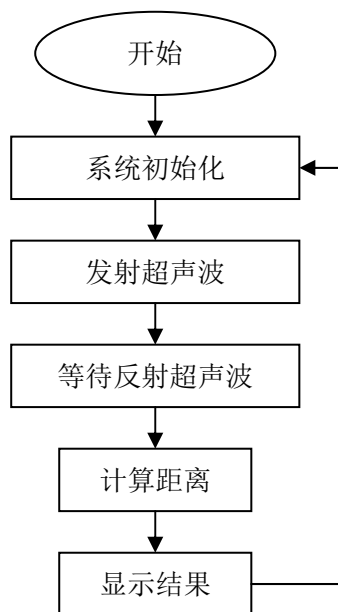


图 8 测距流程图

2.4 测倾角模块设计

使用 ADXL345 加速度传感器^[10-11]可测的加速度值，通过计算可得到角度值。该传感器能够测量 3 轴的加速度，其测量范围为-16g—16g，其测量精度为 0.25°。倾角传感器将测出的数据传入单片机，经过判断后，按所得结果进行相应动作，已达到平衡。

由加速度值计算得角度值的公式如下：

$$q = \arctan \frac{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}{A_z}$$

$$\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} = 1G$$

A_x, A_y, A_z 分别为 X 轴、Y 轴、Z 轴加速度。

2.5 语音、显示模块设计

语音模块主要采用 ISD1400 或 ISD1420。语音模块在小车找到平衡后，发出“已平衡”提示音。图 9 为语音模块电路图。

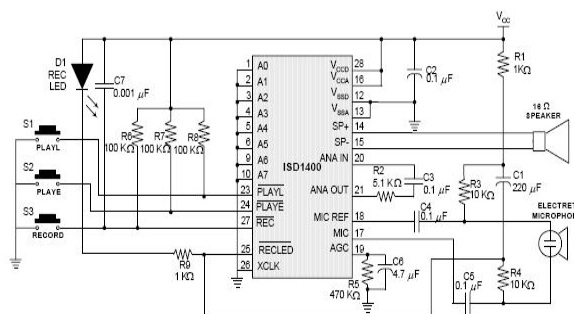


图 9 语音模块电路图

显示部分使用 LCD12864, 显示时首先判断 12864 是否忙, 如果 12864 忙, 则等待直到 12864 不忙为止, 若 12864 不忙则可读传感器 (加速度传感器、超声波测距仪) 所得数据, 然后采用相应的转换公式将所得数据显示在 12864 上。

3 系统测试及分析

经实验测定该系统可在较短的时间内通过调节两小车的运动, 使跷跷板达到并保持平衡。下面是各个模块的测试结果。

电源模块、电机驱动模块、循迹模块均能正常工作, 三者配合可使小车沿特定轨迹行进, 满足设计要求。

显示模块可显示汉字“角度”、“距离”, 并正确显示其值。语音模块能在找到平衡后发出提示音。

超声波测距模块, 根据实验可得所测距离与实际值有 3mm 误差, 其原因有: 超声波发射与接受都需要一定时间; 超声波传感器本身具有测量盲区^[14], 需进一步改进。

角度传感器模块, 能较为准确的测量跷跷板倾角, 但测量速度较慢, 拟采用软件的方法提高角度测量的灵敏度^[15]。

4 结论

针对需要保持平衡的系统, 本文提出了一种基于 51 单片机的寻求平衡的方法。该方法能较为快速地寻求系统的平衡, 可广泛应用于平衡系统中, 对于同类系统只需改进相应参数^[16]、应用适合的硬件即可达到平衡。下一步工作将围绕提高寻求平衡的速度及所达平衡的精确度方面努力。

参考文献

1. 于长官. 自动控制技术及应用. 哈尔滨工业大学, 2007 (02) .
2. 徐正平, 葛文奇, 王晓坤, 李友一, 许永森, 李军. 黄浦具有液晶显示及语音提示功能的智能电动车设计[J]. 液晶与显示. 2010(04).
3. 陈永刚. 简易智能电动车超声波自动避障系统的设计[J]. 甘肃科技纵横. 2005(02).
4. 吴建平, 殷战国, 曹思榕, 李坤垣. 红外反射式传

- 感器在自主式寻迹小车导航中的应用[J]. 中国测试技术. 2004(06).
5. 祝亚峰, 李书刚. 基于红外激光管的智能车设计[J]. 信息技术. 2010(06).
6. 梁静. 一种基于光电传感的路径识别智能车[J]. 科学技术与工程. 2011(01)
7. 郭蓉, 廖娜, 郭丽. 基于 STC89C51 单片机的超声波测距系统设计与实现 [J]. 石油仪器 . 2010(05).
8. 杨东燕. 用于移动机器人避障的超声波测距系统[J]. 内蒙古科技与经济. 2008(16).
9. 郭丽颖. 基于单片机的超声波测距电路的设计[J]. 自动化技术与应用. 2010(06).
10. 唐玉发, 张合, 刘建敬. 基于磁阻传感器与加速度计复合的姿态角检测技术[J]. 传感器与微系统. 2013(01).
11. 唐玉发, 张合, 徐国泰, 刘建敬. 基于加权移动平均的姿态角测量技术实现 [J]. 仪器仪表学报. 2012(08).
12. 刘思华, 胡广大, 王英. 一种改进的基于优化的 PID 参数整定方法[J]. 系统仿真学报. 2007(16).
13. 张松兰. PID 控制器参数整定[J]. 科技情报开发与经济. 2007(29).
14. 韩丽茹. 提高超声波测距精度方法综述[J]. 电讯技术. 2010(09).
15. 白渚铨, 张晓明, 刘俊, 王宇, 赵炉. 基于加速度计的数字倾角仪误差建模与分析[J]. 传感技术学报. 2013(08).
16. 韩达. 模糊 PID 复合控制[J]. 数字技术与应用. 2011(03).

TSC 型异步电机无功就地补偿装置*

王世隆¹, 沈峰², 关乔², 崔海龙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: 本项目通过实验、分析吉林大学仪器科学与电气工程学院电机学实验室中 TSC 型异步鼠笼电机的空载功率因数特性, 设计并实现对功率因数的就地补偿方案。TSC 型异步电机无功就地补偿装置以 STC89C51 单片机作为核心控制芯片, 以 LM393 和 CD4013 芯片组成功率因数采集模块, 以晶闸管与二极管反向并联组成投切模块对补偿电容进行选择, 从而达到提高功率因数的目的。计算与分析结果表明: 本补偿装置可在空载条件下, 提高异步电机的功率因数。

关键词: 异步电机 无功功率 就地补偿

A TSC Localized Reactive Power Compensator for Asynchronous Motor

Wang Shilong¹, Shen Feng², Guan Qiao², Cui Hailong²

(1. Laboratory of the Earth Information Detection Instrument, Jilin University, Changchun 130026, China 2. College of Instrument and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: In this project, we try to design and realize the method of localized reactive power compensation by the experiment and analysis of the no-loading power factor characteristics of the asynchronous squirrel cage motors in the laboratory of College of Instrument and Electrical Engineering in Jilin University. The TSC localized reactive power compensator for asynchronous motor is based on STC89C51 microcomputer as its core control chip; use LM393 and CD4013 chips forming a power factor acquisition module; and choose the compensation capacitor by the switch module consists of thyristors and diodes with inverse-parallel connection, in order to improve the power factor. The results of computing and analysing indicated that this compensator can improve the power factor of the asynchronous motor in no-loading situation.

Key words: Asynchronous motor Reactive power Localized compensation.

0 前言

三相异步电机使电力机械最主要的原动机, 用电量占全国用电量的 60% 以上, 其运行时的无功功率会对电网造成巨大的负担。我实验室用 TSC 型三相异步电机, 额定电压 220V, 额定电流为 0.6A, 额定功率 120W, 额定转速 1380n/min, 工作频率为 50Hz, 正常平稳运行时功率因数为 0.75~0.8 之间, 当多台电机运行时, 会造成较大的损耗。异步电机为感性负载, 通过并联电容器的就地补偿方式, 可以提高功率因数。本设计对就

地补偿作为研究对象, 提供一种针对实验室电机的就地补偿方案。

1 整体设计

TSC 型无功就地补偿装置是以补偿电容器无主要功能元件, 以晶闸管为投切开关, 以 STC89C51 为核心控制芯片, 由以下模块构成: 电压电流实时采集模块、功率因数处理模块、控制模块, 投切模块。图 1 为本装置的系统整体原理图。

*指导教师: 王世隆

项目类型: 创新项目

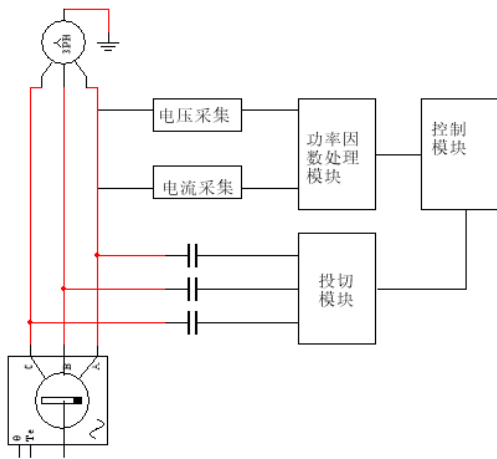


图 1 装置系统整体框图

2 模块设计

2.1 电压电流实时采集模块

电压电流实时采集模块式功率因数计算的基础,主要通过 ZDPT-101 系列电流型电压互感器与 HWCT(5A/5mA)微型精密电流互感器对电机的 A 相相电压以及 A 相相电流进行采集。

电压采集电路如图 2,电压采集比

$$K = R_1 : R_2 = 20k\Omega / 2k\Omega。$$



图 2 电压采集电路

电流采集电路如图 3,电流采集比为 1000/1,

输出的电流信号的电压值为 $U_2 = I_2 R = \frac{1}{1000} I_1 R$,

其中 $R = 1k\Omega$ 。

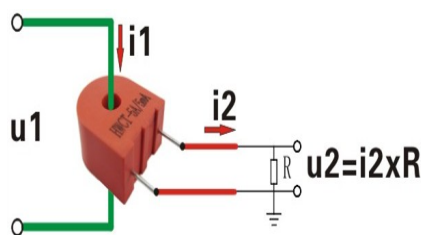


图 3 电流采集电路

2.2 功率因数处理模块

功率因数处理模块是功率因数计算的最重要模块,包括电压过零电路,电流过零电路。将过零后的电压、电流信号进行比较处理后输出频率为 50Hz,占空比为 n 的方波信号。其中功率角 $\varphi = 2\pi n$ 。其中图 4 为电压过零电路,图 5 为电流过零电路,图 6 为功率因数处理模块总电路。

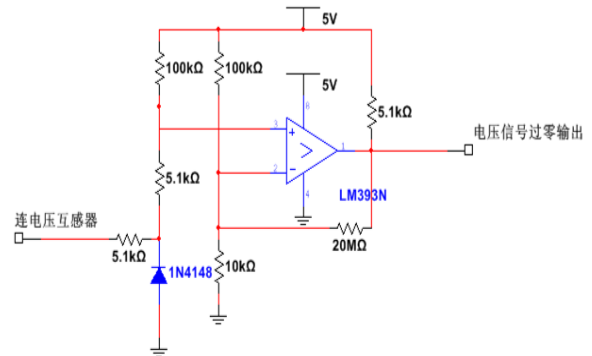


图 4 电压过零电路

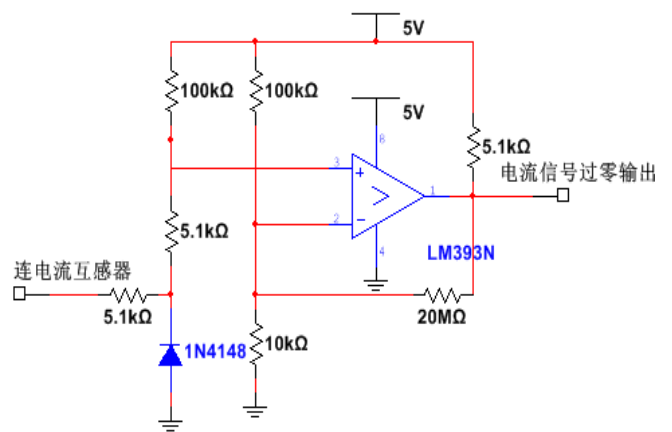


图 5 电流过零电路

过零电路的核心芯片为 LM393,过零后输出的电压电流波形通过 CD4013 芯片进行比较处理,可得到对应其功率因数的脉冲波形。

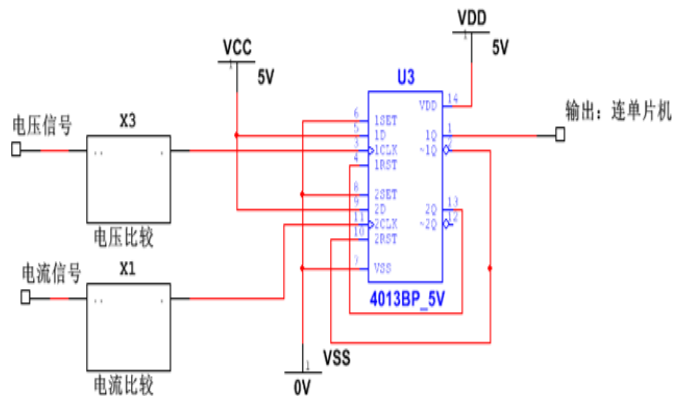


图 6 功率因数处理模块电路图

2.3 控制模块

控制部分由 STC89C51 单片机作为核心，由单片机构成的最小系统，采集功率因数处理模块处理后的脉冲信号，计算出功率因数的大小与此时需要补偿的无功容量后，输出三路脉冲选择所需投切的晶闸管，并对投切时刻进行校准，避免了投切时刻不恰当造成的电流冲击。图 7 为控制模块流程图。

单片机采集到信号后，迅速计算出功率因数，然后输出第一路脉冲对 A 相补偿电容进行选择， $\frac{\pi}{3}$ 周期后输出第二路脉冲，对 B 相补偿电容选择，再过 $\frac{\pi}{3}$ 周期后输出第三路脉冲，对 C 相补偿电容进行选择。如此重复补偿 20 个周期以后，重新对输入信号进行扫描，采集到新的功率因数信号后，重复投切过程，如此反复工作。确保在不同功率因数下选择适当的电容容量进行补偿。避免了过补偿造成对电机的损害。

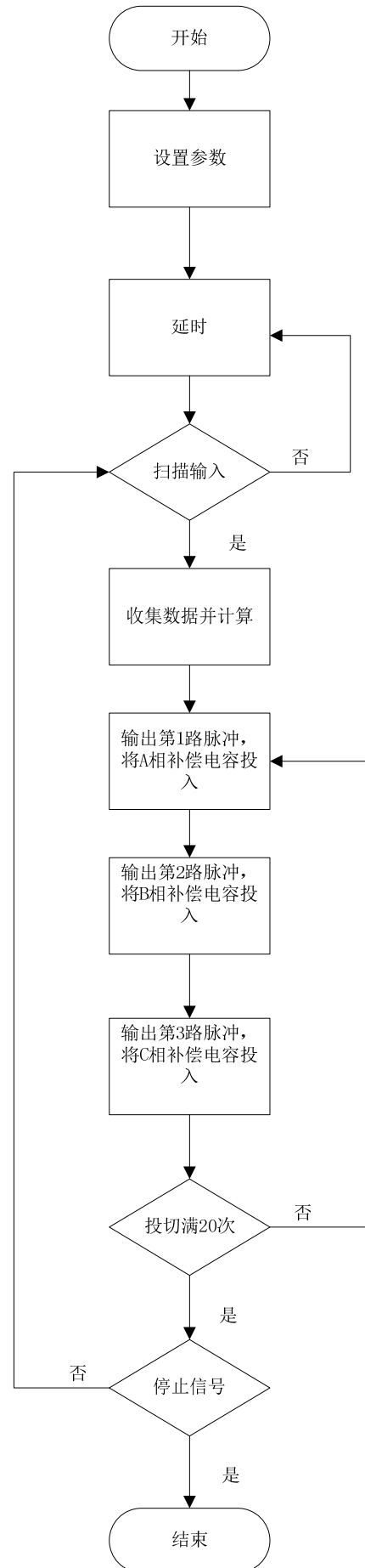


图 7 控制模块流程图

2.4 投切模块

投切模块主要包括：反向并联的投切晶闸管与回流二极管，补偿电容，缓冲电感，以及过流保护电阻等。电路图如 8 所示：

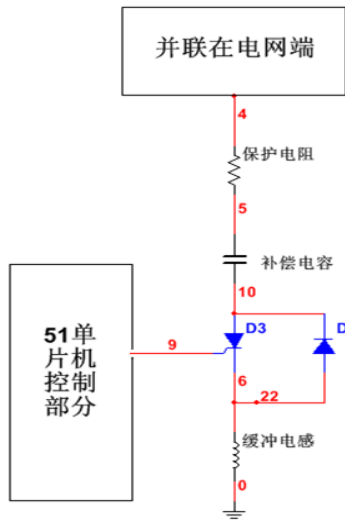


图 8 投切模块电路图

投切模块中选择晶闸管与二极管反向并联的投切方式，简化了电路结构，减轻了控制系统的负担。为了适当的吸收投切时产生的冲击电流，而又不影响电容的补偿效果，缓冲电感的大小为补偿电容容量的 5%。

3 补偿电容容量的计算

补偿电容的容量计算公式包括空载电流法，目标功率因数法，经验法等。本设计采用目标功率因数法进行计算。

目标功率因数法计算补偿容量并确定电容的大小。

(1) 补偿容量计算公式：

$$Q_c = P \left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_2} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_1} - 1} \right) K_2$$

其中，

Q_c 为所需的补偿容量 (kvar)；

P 为额定功率, $P = 0.12 \text{Kw}$;

K_2 为系数, $K_2 = \frac{U_{c1}^2}{U_{c0}^2} = \frac{0.45^2}{0.22^2} = 4.18$;

$\cos \varphi_2$ 为额定功率因数, $\cos \varphi_2 = 0.8$;

φ 为补偿后要达到的功率因数角，

$$\cos \varphi = 0.95;$$

U_{c1} 为电容器额定电压 0.45kV;

U_{c0} 为电容器实际电压 0.22kV;

由此计算出 $Q_c = 0.228 \text{Kvar}$ 。

(2) 电容大小与补偿容量大小的关系公式：

$$Q_c = 0.314 C U_{c0}^2$$

其中，

C 为电容的大小 (μF)；

由此计算出 $C = 15 \mu\text{F}$ 。

因此补偿电容的容量的最大值为 $15 \mu\text{F}$ 。

4 装置测试及分析

实验室电机启动过程与工厂中的电机不同，实验室电机的启动过程为逐渐增大异步电机两端的电压从而使电机缓慢启动。空载时，当电压小于 50V，电机不转动，此时功率因数很小，从 0.5~0.85 左右（根据不同电机，实验时会有误差），转子电流很大。当电压大于 50V 以后，电机开始转动，在到达额定转速过程中，电流减小，功率因数缓慢下降，最后稳定在 0.7 左右。

加入补偿装置后，当电机电压小于 50V 时，补偿效果欠佳，功率因数没有达到要求的 0.95，这是因为电容两端电压小，电容补偿能力小，因此不能达到预期目标。当电压逐渐增大，补偿效果明显变好，补偿后功率因数达到 0.95 以上，并出现小幅度的过补偿现象。

5 结论

针对实验室的 TSC 型异步电机在实验时会产生无功功率的现象，本文提出了投切并联补偿电容器的就地补偿的方法。该方法可以根据不同时刻所需的补偿容量不同，智能投切晶闸管以选择不同容量的补偿电容，有效的为电机提供无功功率，减轻电网负担。本装置还可以应用到与异步

电机同类的感性负载中。在接下来的工作中，将在补偿精度以及补偿效果改善与提高方面进行进一步研究。

参考文献

1. 李媛.新型静止无功发生器 SVG 控制策略仿真研究[D].北京:北京交通大学,2008.
2. 吕崇伟.可控饱和电抗器在抽油机无功补偿中的应用[D].北京:北京交通大学,2006.
3. 程汉湘,刘建,尹项根,等.单桥路 SVG 无功补偿控制系统研究 [J]. 电力自动化设备,2004,24(2):5-8.
4. 牛轶男,冯婷,汪扬,李成波.电力系统无功补偿技术发展现状[J].信息通信,2011.1:48-51.
5. 张乾,刘英义,焦治星.单台异步电动机无功功率就地补偿技术的探讨[J].工程兵工程学院学报,1999.14(1):74-79.
6. 尚德彬.抽油机电机的无功就地补偿[J].农村电气化.2013.10.

震动信号采集与初步处理系统研究*

孙锋^{1,2}, 薛宇¹, 高子耘¹, 陈章泽¹

(1. 吉林大学仪器科学与电气工程学院, 长春 130061

2. 吉林大学地球信息探测仪器教育部重点实验室, 长春 130061)

摘要:在地质勘测中, 传统的地震振动采集与分析系统体积较大、移动不方便、不能在线观测与分析, 本项目利用传感器、单片机以及笔记本电脑建立一个比较小型的震动采集与分析系统, 并且实现在线观测与分析的, 从而解决地质勘测中出现的设备移动与时时分析的问题。

关键字: 震动系统 振动信号 加速度传感器 单片机

An acquisition and preliminary processing system of vibration signal

Sun Feng^{1, 2}, Xue Yu¹, Gao Zi-Yun¹, Chen Zhang-Ze¹

(1. College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130061, China;

2. Key Laboratory for Geophysical Instrumentation of Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract : In the process of geological survey ,the traditional acquisition and analysis system of vibration is too large ,it is hard to move the system and we could not observe or analyse the data online.In this project ,we use a sensor ,a Single-chip Microcomputer and laptops to build a smaller acquisition and analysis system of vibration , we can observe and analyse the data online with it ,thereby solving problems of devices moving and real-time analysing in the process of geological survey.

Keywords : Vibroseis; Vibration signal; Accelerometer; Single-chip Microcomputer

0 前言

地质勘察及相关领域事关能源大业, 是经济社会发展基础之基础, 具有先导性、基础性、综合性和探索性等特点, 其服务领域几乎涉及了国民经济建设的各个方面。而在实际地质勘探中, 人们利用人工方法产生小规模的可控人造地震, 并通过一系列采集处理系统获得地表以下地质信息。设计振动信号采集装置成为其中的重点问题。国内外比较成

熟的技术成本较高, 编程的效率较低, 可扩展性不好。所以旨在设计一套简便携带, 易操作可时时显示波形的地震振动信号采集系统。

1 整体设计

为比较准确的采集到地震振动信号, 利用加速度传感器, 探测振动信号。设计系统包括采集部分, 数据转化存储部分和后期处理部分, 图 1 为系统整体原理图。如下

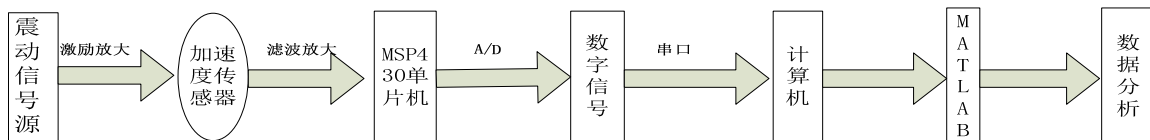


图 1 整体框架图

Fig.1 Overall framework map

*指导教师: 孙锋

项目类型: 创新项目

2 模块设计

2.1 采集部分

传感器为单信号输出，所以可以直接经处理电路输入单片机，不需对传感器进行差分处理。微弱振动信号的采集，由于振幅以及频率较低，需要前置放大器以及低通滤波器。利用二阶低通有源滤波器由两级RC滤波环节与同相比例运算电路组成，引入适量的正反馈，能改善幅频特性，而且滤波效果较好，电路也相对比较简单故选择此种采集电路。

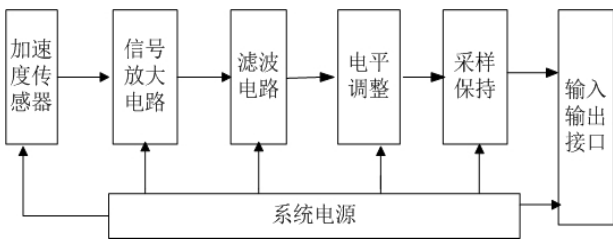


图 2 采集框架图

Fig.2 Collection framework map

设计放大器电路如下：

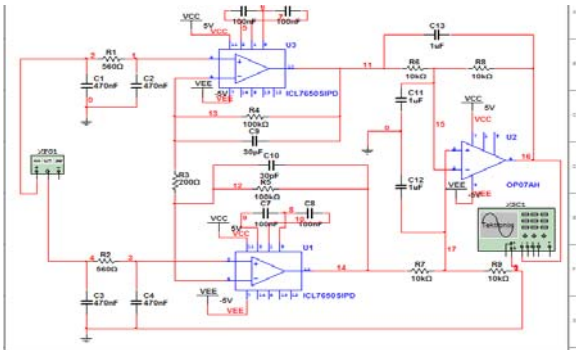


图 3 放大器电路

Fig.3 Amplifier circuit

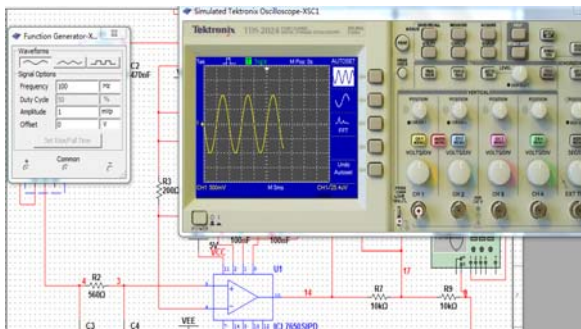


图 4 仿真结果图

Fig.4 Simulation results

设计滤波电路如下：

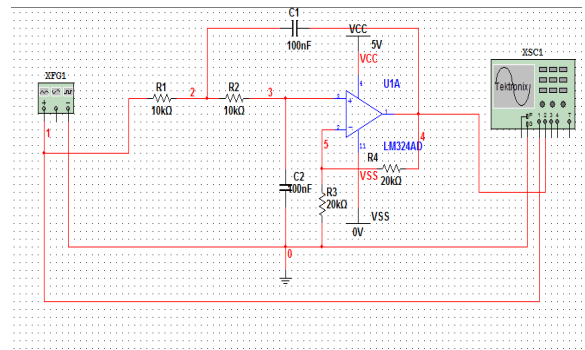


图 5 滤波器电路

Fig.5 Filter circuit

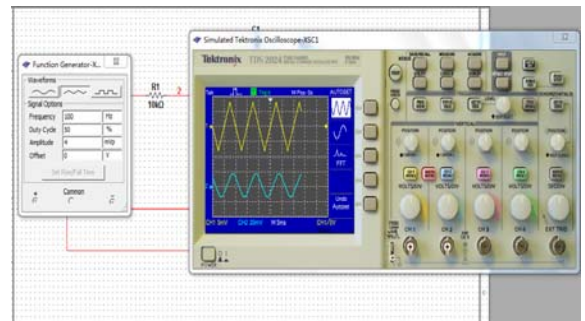


图 6 仿真结果图

Fig.6 Simulation results

仿真结果显示设计电路可以实现预想效果。

2.3 数据转换设计

振动信号变化较快，需要经采样保持器在单片机进行保存，之后进行 A/D 转换，采样波特率设计为 9600B/s，单通道采集，采样转换同时向上位机输出数字信号。一个数据信号为两个 8 位的二进制数，有效数字位为后 12 位，设计识别校验位 0011 补足两个 8 位二进制数。

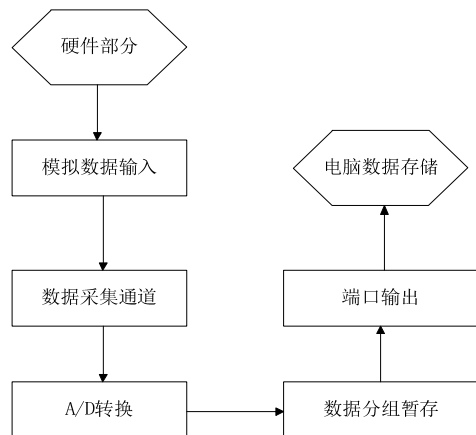


图 7 A/D 转换框图

Fig.7 A / D Converter block diagram

上位机笔记本电脑用记事本格式储存数据。

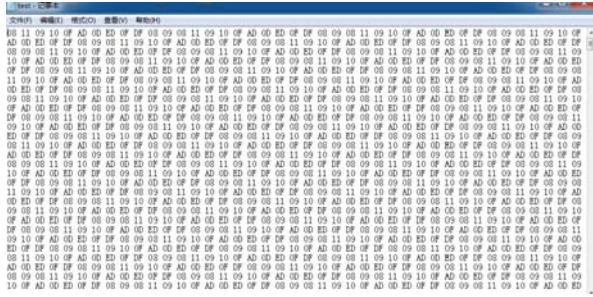


图 8 数据存储图

Fig.8 Data storage figure

2.4 MATLAB 数据处理模型

从记事本中读取数据，利用 matlab 还原数据波形，分析数据。

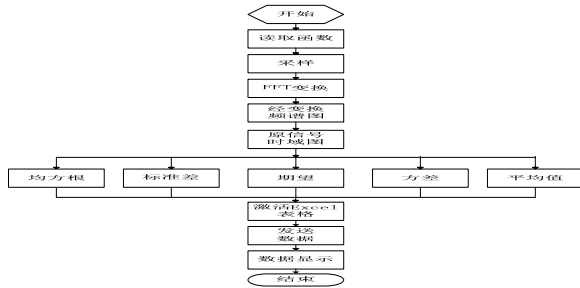


图 9 MATLAB 数据处理框架图

Fig.9 MATLAB data processing framework map

在设计的前端 GUI 界面中进行控制。GUI 界面包括波形显示、计数、复位、频域分析、时域分析等。

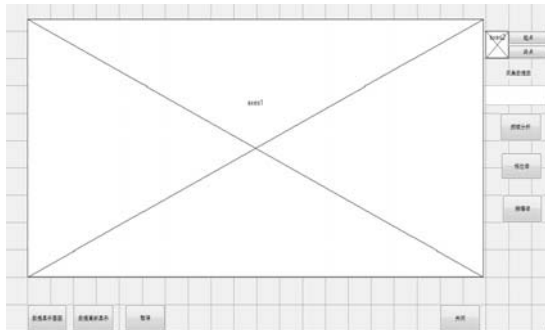


图 10 GUI 界面

Fig.10 GUI interface

GUI 界面底层程序设计包括滤波，延时，还原数据信息的算法程序。

3 系统测试及分析

各部分测试效果基本实现功能，能实时采集数据，实现模拟量到数字量的转换，储存时数据准确储存率为 99.63%，对波形显示影响不大。数据丢失原因是编写的程序为循环采集程序，每次循环开始时刻对数据会有是否为传感器采集开始的 16 位二进制数的校验过程，实际过程中此校验数可能会发生丢失。

测试的 GUI 界面

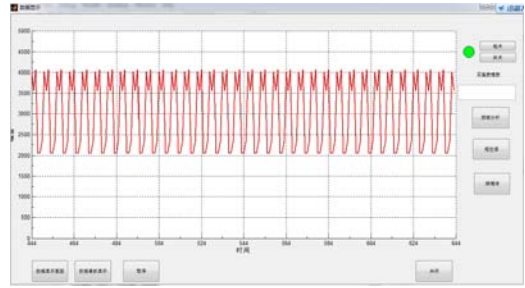


图 11 振动波形图

Fig.11 Vibration waveform chart

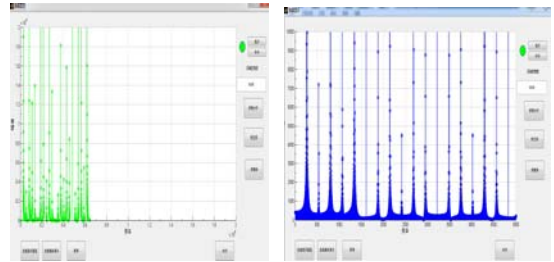


图 12 频域、时域分析

Fig.12 Frequency domain, time domain analysis

利用系统实验采集一块一端固定的木板振动情况，并与仿真情况相比较。得到仿真图形：

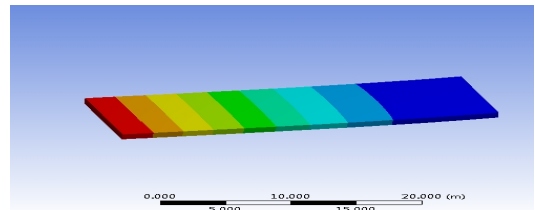


图 13 仿真图（红色表示振动最剧烈）

Fig.13 Simulation figure

从板的左端到固定端依次取十点测量，数据如下：

表 1 仿真与测量位移值

Table 1 Simulation and measurement of displacement values

序号	垂直位移	
	仿真	测量
1	130.84	2015
2	112.64	1807
3	94.573	1756
4	76.691	1765
5	59.512	1677
6	43.434	1437
7	28.990	1311
8	16.778	1198
9	7.454	990
10	1.7179	980

测量值不代表真实的位移值，利用系统测出

的数据相对值表示振动对于某一平衡位置的垂直方向的振动情况。所以通过比较测量与仿真的各种数据之间的相对振动来验证是否完成测量任务。同时，仿真部分是设置各项指标最优，不考虑外界振动干扰和电磁干扰。

两组数据画曲线表示，如下：

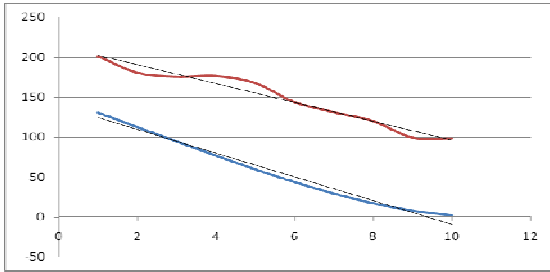


图 14 测量与仿真比较曲线

Fig.14 Comparison of measurement and simulation curve

图 14. 上方的测量值曲线与下方的仿真值曲线趋势大体相近，显示系统基本可以完成测量，曲线中波动分析可能是外界干扰导致。

4 结论

针对地震振动信号，利用加速度传感器和 matlab 实现振动信号的采集与显示分析，通过仿真验证本系统基本实现信号采集与显示。下一步应提高数据储存准确率，改善系统的分析方法。

参考文献

- 1 蒋济同, 唐世振, 基于 MATLAB 的振动信号采集与分析系统的研究[J]. 2007 年第九届全国振动理论及应用学术会议论文集, 2007. 10. 17-19: 9-95—9-99
- 2 杨金朝, 赵迪斐, 徐咚羚, 论地质勘查对国民经济发展的作用和意义[J]. 魅力中国, 第 2 期, 2011: 87
- 3 胡业林, 张文利, 王祖讷, 地质勘探工程网络电测仪系统研究[J]. 煤炭科学技术, 2004. 2, 32(2): 17, 18, 23
- 4 丁康, 谢明, 王延春等, DAS — 1 动态信号分析与故障诊断系统[J]. 振动工程学报, 1993. 6, 6(2): 199—204
- 5 贺雨璇, 陈润, 朱特等, 基于 MSP430 的地震监测报警系统[J]. 电子测量技术, 2009. 7, 32(7): 78-80
- 6 洪利, 章扬, 李世宝, MSP430 单片机原理与应用实例详解[M]. 北京航空航天大学出版社, 2010. 7
- 7 刘俊, 杨俊华, 杨梦丽等, 基于 matlab 与 VC 的风电机组齿轮箱振动信号采集与分析系统[J]. 广东电力, 26(6), 2013. 6: 70-75
- 8 负韞, 白洁, 王玲, 郑慧慧, 压电式加速度传感器信号采集系统设计研究[J]. 科技资讯, 2011, 27: 138
- 9 唐军, 郭涛, 石云波, 刘俊高, 精度加速度传感器信号处理电路的设计[J]. 传感器技术 2005, 24(7): 52, 53, 56

忆阻器的动力学行为分析与模拟实现*

张 春; 黄一钊; 赵天辉

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 忆阻器是一类具有特殊记忆功能的新型非线性电阻, 被认为是除电阻、电容、电感以外的第四类电路基本元件, 拥有广阔的应用前景。为了研究忆阻器的动力学特性, 建立了一种新的二次方磁控忆阻器数学模型, 分析了频率变化对忆阻器特性曲线的影响, 并利用电容、电阻、运算放大器以及乘法器设计出了等效电路。运用 PSIM 软件对电路模型进行了仿真验证, 观察不同激励、不同频率下的忆阻器特性曲线。最后, 利用面包板搭建硬件电路进行了实验验证, 实际实验结果与仿真结果一致, 证明了该数学模型及相应电路设计方案的有效性和正确性。

关键字: 磁控忆阻器 二次方模型 频率

中图分类号: TM132

文献标识码: J

Research the dynamic characteristic and realizable analog model of memristor

Zhang Chun; Huang Yizhao; Zhao Tianhui

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

Abstract: Memristor is a nonlinear resistor with memory, which is considered as the fourth basic passive element, that has a broad prospect. In order to research the dynamic characteristic of memristor, we establish a new quadratic flux-based equivalent circuit, analyse the influence of frequency to the memristor's i-v curve. We use resistors, capacitances, operational amplifiers and multiplying units to design a equivalent circuit. The equivalent circuit model has been emulated in PSIM to observe the memristor's i-v curve in different excitations and frequency. Additionally, we build a breadboard model for experiment. The experimental results are in agreement with the simulation results, which has verified the effectiveness and validity of the mathematical model and the relevant circuit design.

Key Words: magnetic control memristor quadratic model frequency

0 前言

在电路理论中, 常见的电路元件有: 电阻、电感、电容。这些元件的特性是用电压、电流、磁链和电荷这 4 个物理量来表征。忆阻器 (Memristor) 的概念是由 Chua^[1] 在 1971 年根据电路元件端口变量间关系的结构完整性提出来的。蔡少棠 (L. Chua) 先生指出应该有六个数学关系来联接这四个基本的物理量。但是现在只有五个确定的关系, 从对称的观点看, 推测出了第四种基本元件的存在, 他称之为忆阻器 (M), 用来反映电荷和磁链之间的函数关系^[2]。这种元件的效果就是它的电阻会随着通过的电流而改变, 而且就算电流停止了, 它的电阻仍

然会停留在之前的值, 直到接受到反向的电流它才会被推回去。因为这样的元件会记住之前的电流, 因此被称为忆阻器。

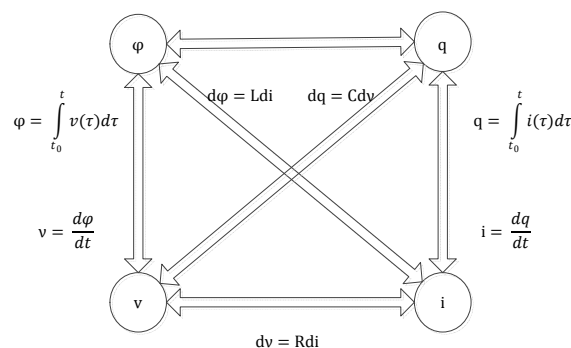


图 1 四个基本变量之间的对应关系

Fig.1 The relationship of four basic variables

*指导老师: 陈祖斌

项目类型: 创新项目

由于缺乏实验支撑，忆阻器理论在提出二十年的时间内，虽然理论空间在不断地扩大和完善，但是没有引起学者的广泛关注。直到被 HP 实验室的研究员证明其在现实中的真实存在，此技术就一夜成名^[3]。随着人们对于忆阻概念理解的深入，实现忆阻性能的多种物理模型与机理在各研究领域被相继提出，从而使制作真正意义上的忆阻器件成为可能。目前，实现忆阻器件的模型和机理主要有：边界迁移模型、电子自旋阻塞模型、绝缘-金属转变 (IMT) 丝电导机制、氧化还原反应等^[4]。在文献[5]中提出了由 φ - q 平面上一条三次单调上升的非线性曲线来确定的光滑磁控忆阻器，它有着斜“8”字形的类紧磁滞回线的伏安特性曲线。采用光滑磁控忆阻器和负电阻可以构成有源忆阻器，该有源忆阻器的模型机理和实现电路较文献[4]中提到的模型机理都要简单，易于实现，而且可以满足本次研究，所以我

们选择该有源忆阻器模型作为我们的研究对象来研究忆阻器的动力学行为。

1 忆阻器的建模仿真及数学推导

文献[5]中介绍的有源忆阻器是借助于具有三次非线性特性曲线的蔡氏二极管等效电路方法来实现的，可以给出有源忆阻器的等效电路实现，如图 2 所示，其特性图如图 3 所示。图中运算放大器 U_1 的反向输入端与输出端相连组成了电压跟随器电路，起到了有源忆阻器与左边电路的隔离作用； U_2 与 R_1C 构成了一个积分电路，其输出经过后面两级模拟乘法器实现了有源忆阻器的非线性运算； U_3 与 R_3 、 R_4 一起组成的电路使得 R_2 的阻值变成了负阻值。

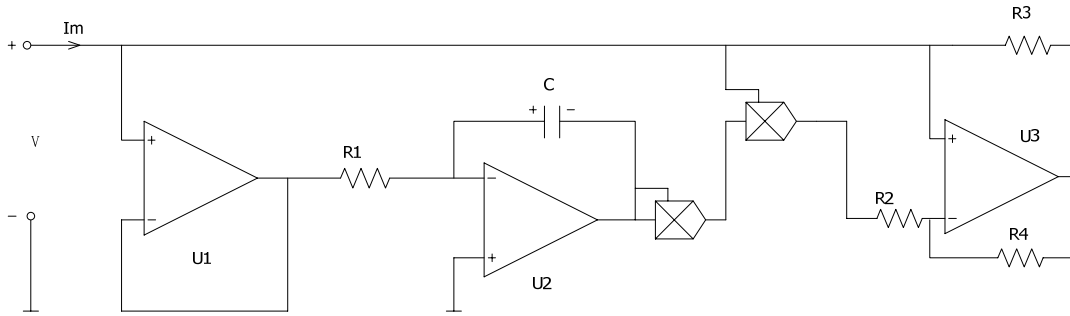


图 2 有源忆阻器的等效电路实现

Fig.2 The equivalent circuit of active memristor

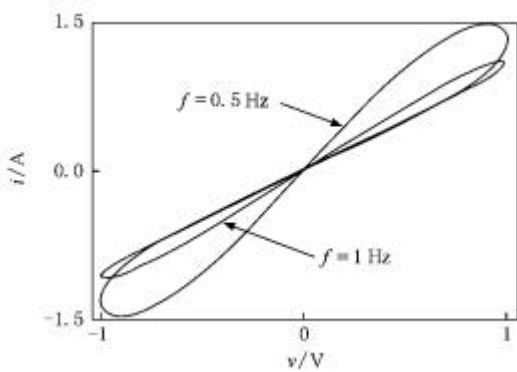


图 3 有源磁控忆阻器的伏安特性

Fig.3 The i-v character figure of active memristor

通过对忆阻器特性的研究，我们对上述等效电路进行了改进与创新。文献[5]中定义了一个磁控忆阻元件，它具有光滑的三次单调上升的非线性特性曲线，即

$$q(\varphi) = a\varphi + b\varphi^3$$

我们对其进行了简化，类似的可以给出一个具有光滑的二次非线性特性曲线的磁控忆阻器元件模型，即

$$q(\varphi) = a\varphi + b\varphi^2 \tag{1}$$

可得到它的忆导 $W(\varphi)$ 为

$$W(\varphi) = \frac{dq(\varphi)}{d\varphi} = a + 2b\varphi \tag{2}$$

则

$$i_m = W(\varphi)v = (a + 2b\varphi)v \tag{3}$$

式中

$$\varphi(t) = \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau$$

这里 $a > 0, b > 0$ 。(1)式描述的磁控忆阻器在 φ - q 平

面上的特性曲线；(2)式表述的是忆导曲线，它是随内部状态变量 φ 变化的正值函数。

我们将上述等效电路中的三次非线性曲

线降幂后改为了二次非线性曲线，即在电路图中去掉了一个乘法器并且将负电阻替换为普通电阻。则经过修改后的等效电路图如图 4 所示。

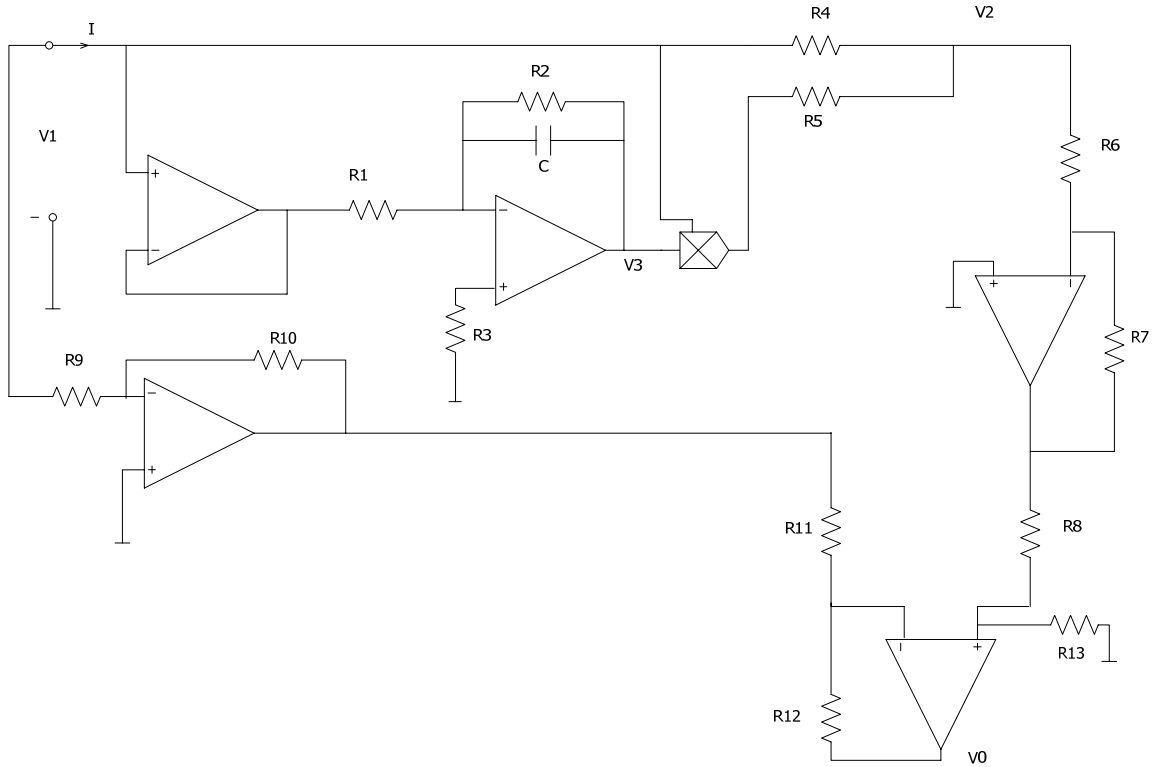


图 4 修改后的有源忆阻器等效电路实现

Fig.4 The modified equivalent circuit of active memristor

由图 4 进行理论分析可知

$$v_3 = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t v dt = -\frac{1}{R_1 C} \varphi \quad (4)$$

$$v_1 = v \cdot v_3 = -\frac{v}{R_1 C} \varphi \quad (5)$$

$$i = \frac{v - v_1}{R_4} = \frac{v + \frac{v}{R_1 C} \varphi}{R_4} = \left(\frac{1}{R_4} + \frac{\varphi}{R_1 R_4 C} \right) v \quad (6)$$

与式(3)比较得：

$$a = \frac{1}{R_4} \quad b = \frac{1}{2R_1 R_4 C}$$

由此可得出电路模型中各参数之间的关系。由于忆阻器电路的电流值较小，不易测量，因此我们通过观察电阻 R_4 的两端电压 (v_0) 与输入电

压的关系来代替 $i - v$ 。图 5 给出了 $i - v$ 和 $v_0 - v$ 的对比，说明了这种替代方法的可行性。

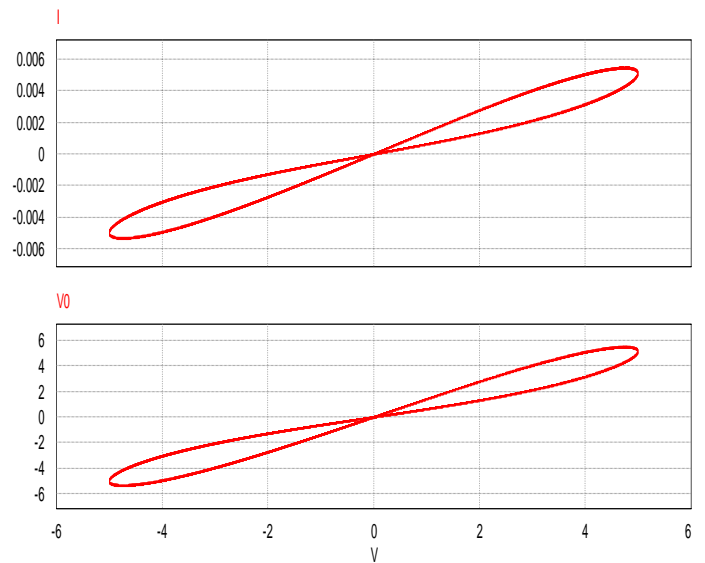


图 5 $i - v$ 和 $v_0 - v$ 对比图

Fig.5 The comparison diagram of $i - v$ and $v_0 - v$

我们运用 PSIM 仿真软件搭建出了改进后的电路如图 4 所示，在输入端加上正弦波，通过仿真所得波形如图 6 和图 7 所示，可以看出二次非线性特性曲线下的有源忆阻器模型是完全满足蔡绍棠对忆阻器所提出的定义，并且仿真结果与图 3 中所示结果相同，证明了改进后电路的正确性。

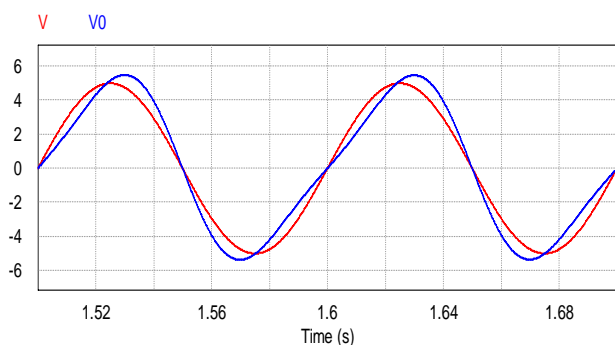


图 6 改进的电路模型的波形图

Fig.6 The oscillogram of modified equivalent circuit

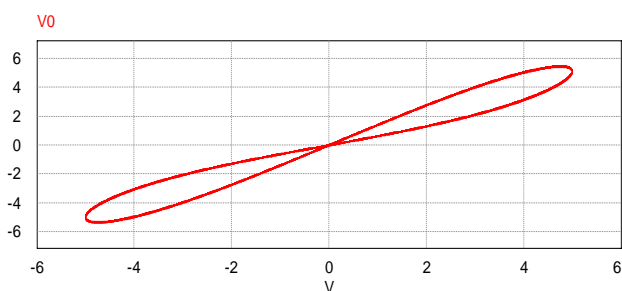


图 7 改进电路模型的忆阻器特性图

Fig.7 The memristor's character figure of modified equivalent circuit

根据以上实验，我们证实了我们所改进的电路模型在模拟仿真下的可行性。

2 忆阻器模型的动力学特性分析及

相应的数学推导

将上面所提出的改进的新电路模型作为忆阻器的等效电路模型，通过改变该等效电路的实验参数得到相应的实验电路波形，从而对该忆阻器模型的动力学特性进行分析。

2.1 频率参数

频率参数对忆阻器的特性有着很大影响，频率越高忆阻器的特性曲线越窄。当频率过高时忆

阻器的电流电压特性图（即“8”字形曲线）会紧紧贴合在一起，在这种情况下忆阻器的忆阻特性会变得非常微弱。通过数学推导得出了频率 f 与忆阻器电压电流特性图 $u-i$ 之间的关系如下：

因为当 $a = 1$ 和 $b = 1$ 时，(2)式描述的是一个归一化磁控忆阻器，即

$$W(\varphi) = \frac{dq(\varphi)}{d\varphi} = 1 + 2\varphi \quad (7)$$

取等效电路电压为单位正弦信号 $v = \sin 2\pi ft$

则由(3)式得

$$i = (1 + 2\varphi)v = \left(1 + 2 \int_0^t v(\tau) d\tau\right)v = \left[1 + \frac{1}{\pi f}(1 - \cos 2\pi ft)\right] \sin 2\pi ft \quad (8)$$

又

$$v = \sin 2\pi ft \quad \cos 2\pi ft = \sqrt{1 - v^2} \quad \text{或} \quad -\sqrt{1 - v^2}$$

当 $\cos 2\pi ft = \sqrt{1 - v^2}$ ，则

$$i = \left[1 + \frac{1}{\pi f}(1 - \sqrt{1 - v^2})\right] \sin 2\pi ft \quad (9)$$

由 $\frac{di}{dv} = 1 + \frac{1}{\pi f} - \frac{1}{\pi f} \cdot \frac{1-2v^2}{\sqrt{1-v^2}}$ 得，在 $v \rightarrow 0, \pi \rightarrow 0$ 时

$$\frac{1}{\pi f} \left(1 - \frac{1-2v^2}{\sqrt{1-v^2}}\right) > 0$$

说明斜率不断增加并且直至无穷。

这里证明的是在 $v > 0$ 时在横轴下方的一段，

当 $\cos 2\pi ft = -\sqrt{1 - v^2}$ 时，可以证明得到横轴上方的一段。关于开口大小与频率的关系，证明如下：

$$\left. \frac{di}{dv} \right|_+ - \left. \frac{di}{dv} \right|_- = \frac{2}{\pi f} \cdot \frac{1-2v^2}{\sqrt{1-v^2}} \quad (10)$$

可得在 v 一定时，斜率随频率 f 的增大而减小。将输入频率 f 分别设为 10Hz, 50Hz, 150Hz, 通

过仿真软件 PSIM 来仿真，得出并记录在各种输入频率下的电流电压波形图如图 8—10 所示。

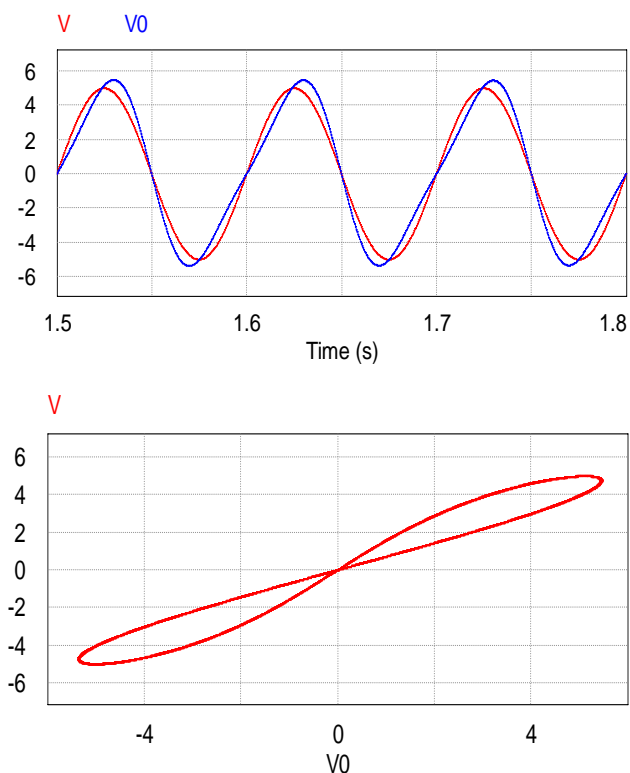


图 8 $v = 5V$ $f = 10Hz$ 正弦波输入下忆阻器的特性图
Fig.8 The memristor's character when $v = 5V$ $f = 10Hz$ and the input signal is sine wave

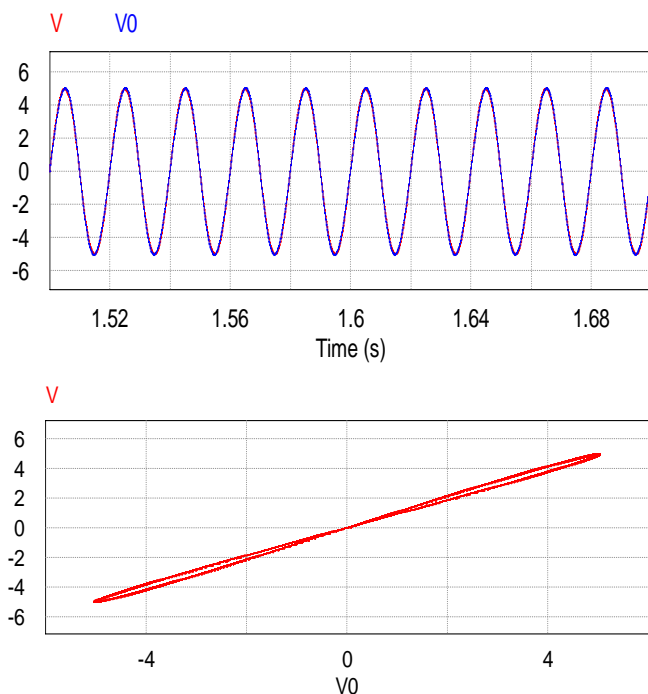


图 9 $v = 5V$ $f = 50Hz$ 正弦波输入下忆阻器的特性图
Fig.9 The memristor's character when $v = 5V$ $f = 50Hz$ and the input signal is sine wave

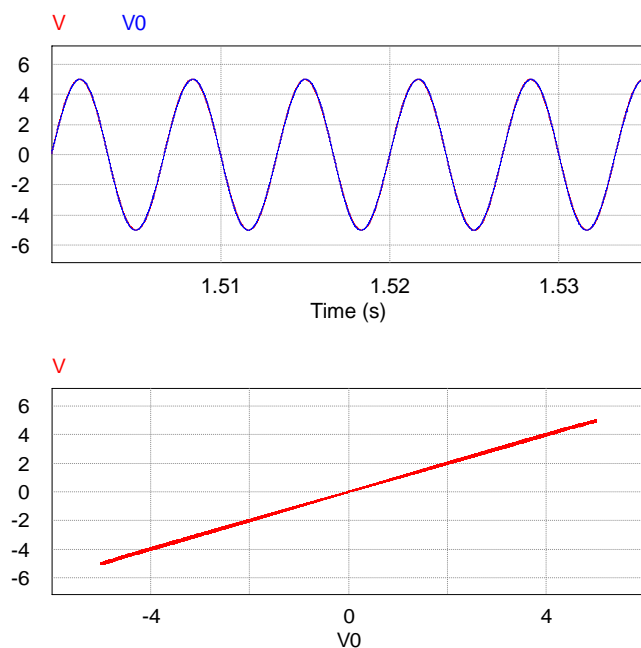


图 10 $v = 5V$ $f = 150Hz$ 正弦波输入下忆阻器的特性图
Fig.10 The memristor's character when $v = 5V$ $f = 150Hz$ and the input signal is sine wave

2.2 输入信号

由于三角波的波形类似于正弦波的波形，所以将输入信号的类型换为三角波。在频率 $f=10Hz$ 时的三角波输入下，仿真得到忆阻器特性图仍能呈现“8”字形曲线，只是在极值转折处有突变，并不像以正弦波作为输入信号时的曲线平滑，具体情况如图 11 所示。

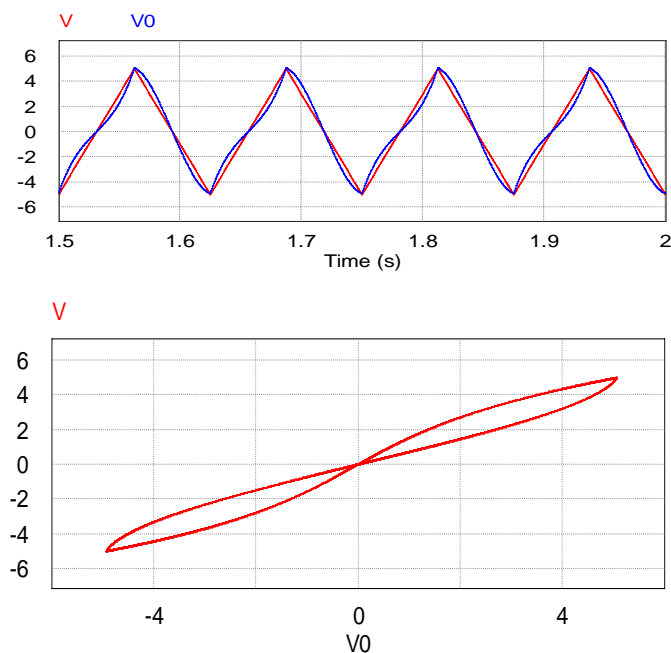


图 11 $v = 5V$ $f = 10Hz$ 时三角波输入下忆阻器的特性曲线
Fig.11 The memristor's character when $v = 5V$ $f = 10Hz$ and the input signal is triangular wave

将三角波的频率调为 $f=15\text{Hz}$ 和 $f=50\text{Hz}$ ，得到忆阻器的特性曲线如图 12 和图 13 所示，可以看出当频率越高时，忆阻器的特性曲线越窄（即“8”字形曲线），当频率达到一定极限时，特性曲线会紧紧贴合在一起，使得忆阻器的忆阻特性渐渐消失。通过设置三角波的频率，又一次验证了频率参数对于忆阻器动力学特性的影响。

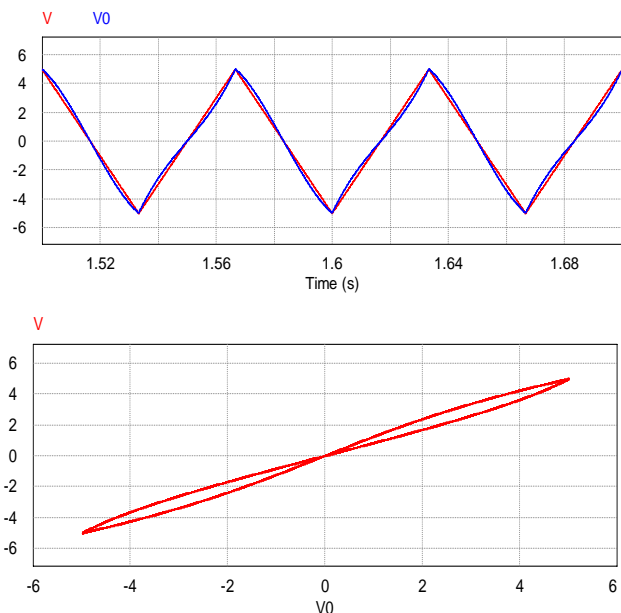


图 12 $v = 5\text{V}$ $f = 15\text{Hz}$ 时三角波输入下忆阻器的特性曲线
Fig.12 The memristor's character when $v = 5\text{V}$ $f = 15\text{Hz}$ and the input signal is triangular wave

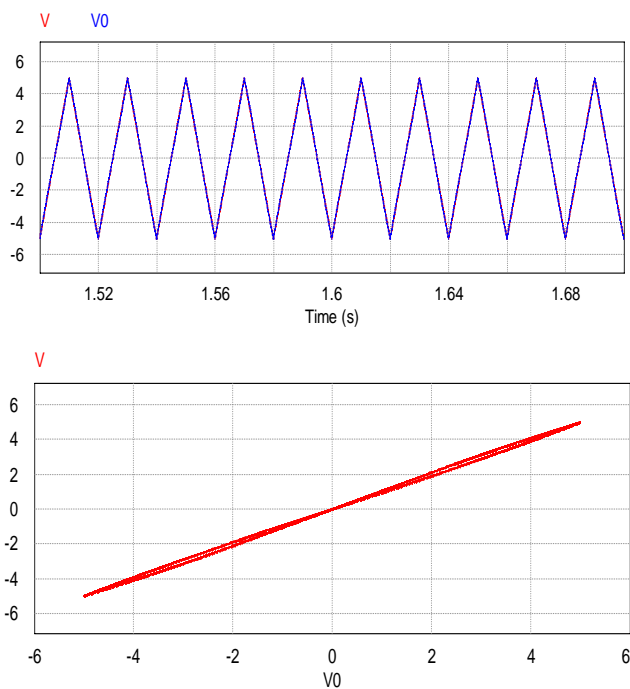


图 13 $v = 5\text{V}$ $f = 50\text{Hz}$ 时三角波输入下忆阻器的特性曲线
Fig.13 The memristor's character when $v = 5\text{V}$ $f = 50\text{Hz}$ and the input signal is triangular wave

3 忆阻器模型电路的实际结果

在 PSIM 软件仿真模型以及相对应的数学公式推导的基础上，在面包板上成功构建了能实现忆阻器功能的模拟电路。通过电路仿真和电路实验验证了电路设计的正确性和电路模拟的有效性。通过用示波器测量，得到了与模拟仿真输出波形一致的忆阻器电压电流特性图，如图 14-19 所示。

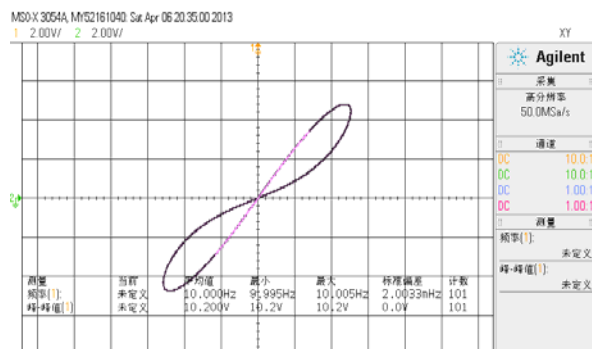


图 14 $v = 5\text{V}$ $f = 10\text{Hz}$ 正弦波输入下忆阻器的特性图
Fig.14 The memristor's character when $v = 5\text{V}$ $f = 10\text{Hz}$ and the input signal is sine wave

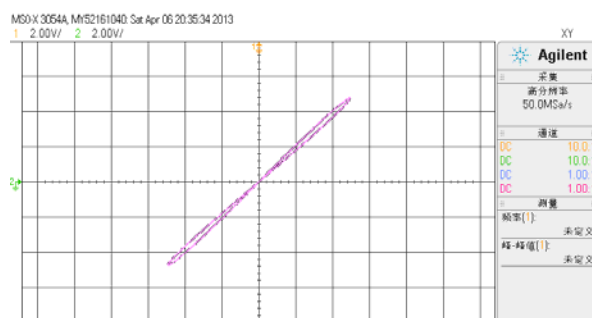


图 15 $v = 5\text{V}$ $f = 50\text{Hz}$ 正弦波输入下忆阻器的特性图
Fig.15 The memristor's character when $v = 5\text{V}$ $f = 50\text{Hz}$ and the input signal is sine wave

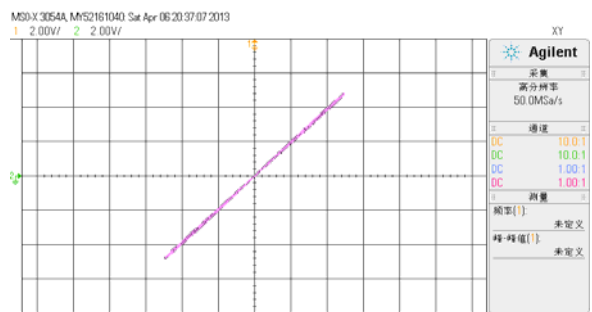


图 16 $v = 5\text{V}$ $f = 150\text{Hz}$ 正弦波输入下忆阻器电的特性图
Fig.16 The memristor's character when $v = 5\text{V}$ $f = 150\text{Hz}$ and the input signal is sine wave

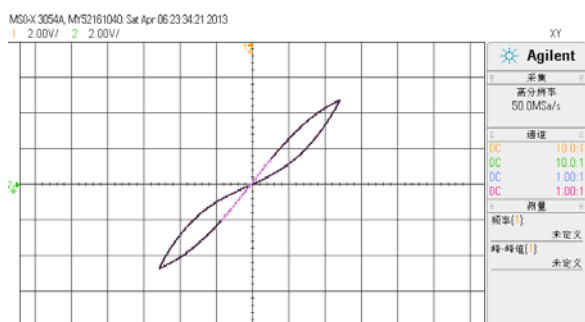


图 17 $v = 5V f = 10\text{Hz}$ 三角波输入下忆阻器的特性图

Fig.17 The memristor's character when $v = 5V f = 10\text{Hz}$ and the input signal is triangular wave

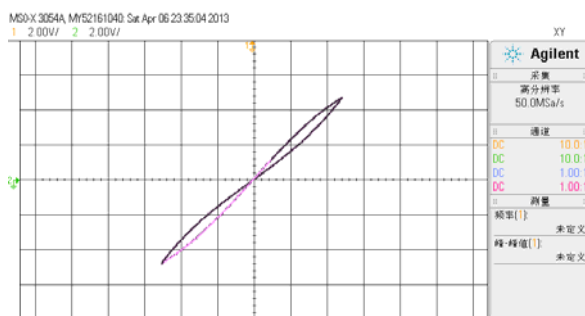


图 18 $v = 5V f = 15\text{Hz}$ 三角波输入下忆阻器的特性图

Fig.18 The memristor's character when $v = 5V f = 15\text{Hz}$ and the input signal is triangular wave

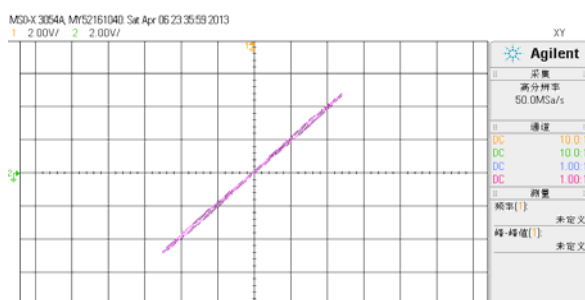


图 19 $v = 5V f = 50\text{Hz}$ 三角波输入下忆阻器的特性图

Fig.19 The memristor's character when $v = 5V f = 50\text{Hz}$ and the input signal is triangular wave

4 总结

在本次研究的过程中，提出了一种具有光滑的二次非线性特性曲线的磁控忆阻器元件模型，并且在原模拟电路的基础上创新地设计了忆阻器模型实现电路。该电路通过软件仿真和搭建实际电路得到的结果均与预期结果相符，证明了所提出的忆阻器模型实现电路的正确性。通过实验结果可以看出二次非线性特性曲线下的有源忆阻器模型是完全满足蔡绍棠对忆阻器提出的定义。

在研究忆阻器的动力学行为方面，主要从忆阻器的频率特性和不同输入信号对忆阻特性的影

响来研究的。在频率特性方面，由实验结果可以看出忆阻器有一个频率阈值，当输入信号的频率超过该阈值时，忆阻器会失去忆阻特性而开始表现出线性特性，并且忆阻特性会随着输入信号频率的增大而减小。在不同输入信号的影响方面，由实验结果可以看出在不同的输入信号的情况下，忆阻特性会发生一定的变化。实验中用正弦波和三角波分别作为输入信号，发现在以三角波作为输入信号时，忆阻特性曲线在的极值转折处的忆阻特性变弱。主要的原因是三角波可表示为大量正弦波的叠加，而这些正弦波的高频部分会使得忆阻器失去忆阻特性，所以忆阻器的忆阻特性还与输入信号的类型有关，表现为输入信号中的正弦波的谐波频率越大，忆阻器的忆阻特性越弱。

本次从输入信号的频率和类型两个方面研究了忆阻器的动力学行为，获得了满意的结果，而忆阻器的其他动力学特性有待于后续的研究。

参考文献

1. CHUA L O.Memristor – the missing circuit element [J].IEEE Trans Circuit Theory,1971,18(5):507-519.
2. 王清华, 宋卫平.二端变类器实现忆阻元件 [J].电气电子教学学报, 2011, 33(3).
3. Ralph Rajola.忆阻器的应用 [J].今日电子, 2008(11)
4. 蔡坤鹏, 王睿, 周济.第四种无源电子元件忆阻器的研究及应用进展 [J].电子元件与材料, 2010,29(4)
5. 包伯成, 胡文, 许建平等.忆阻混沌电路的分析与实现 [J].物理学报, 2011,66(12)

航空物探仪器回收气囊减震系统*

梁少盟； 徐洁； 罗晓春

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 1300261)

摘要: 为避免航空物探仪器在飞行器着陆时受到撞击而至损坏, 采用气囊回收减震回收方式, 通过单片机控制气囊在达到设定高度和速度时开始充气以及充气体积, 并采集下落过程中航空物探仪器底部距地面高度及下落速度和加速度数据, 通过无线通信传输至地面并在 PC 机上显示。实验表明, 该缓冲系统对航空物探仪器有较好的缓冲作用。

关键词: 航空物探仪器 气囊 减震

Aerogeophysical Instrument Recycling airbag Damping System

Sui Yangyi; Liang Shaomeng ; Xu Jie; Luo Xiaochun

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

Abstract: In order to avoid aerogeophysical instrument in aircraft landing impact and damage, we use recycled airbag shock recovery mode. Control airbag inflator and inflatable volume when it reaches the set height and speed through the microcontroller, and collect data of altitude between the bottom of aerogeophysical instrument and ground, falling speed and acceleration. The data is transmitted to the ground and displayed on the PC. Experiments show, the buffer system preferably has a cushioning effect for aerogeophysical instrument.

Key words: Aerogeophysical instrument Airbag Damping

0 前言

航空物探仪器是以飞机或者飞艇为载体, 在高空探测地下信息的仪器。为避免电磁干扰, 提高探测效果, 仪器往往安装在飞行器的底部或悬挂在飞行器下方, 这样飞行器在着陆过程中可能会损坏昂贵的物探仪器, 因此需要配备安全回收系统。受其位置的制约, 应采用气囊减震着陆回收方式。

缓冲气囊作为一种有效的缓和冲击、吸收能量的工具, 已广泛地应用于航空航天领域, 如重型装备的空投缓冲, 无人机的回收, 航天返回舱的落地保护等。国外最先把气囊减震技术应用于回收系统, 包括无人机回收、导弹回收和航天器回收^[1-3]。气囊回收的可靠性强, 因而在航空航天领域应用前景广阔。在国内, 气囊减震技术主要

应用于空投物资, 但在我国由于气囊减震方式的技术还不够成熟, 航空物探仪器回收中的应用还处在起步阶段。

1 项目的总体方案设计

回收气囊减震系统分为两个部分, 分别是空中部分和地面部分。采集航空物探仪器底部距地面高度和下落速度以及加速度数据, 当发达设定值时, 控制器控制气泵充气, 利用无线通信将采集的数据发射至接受部分即地面 PC 机, 并通过串行异步通信显示数据及走势图。整体流程图见图 1 所示, 整体结构图如图 2 所示。

*指导教师: 随阳轶

项目类型: 创新项目

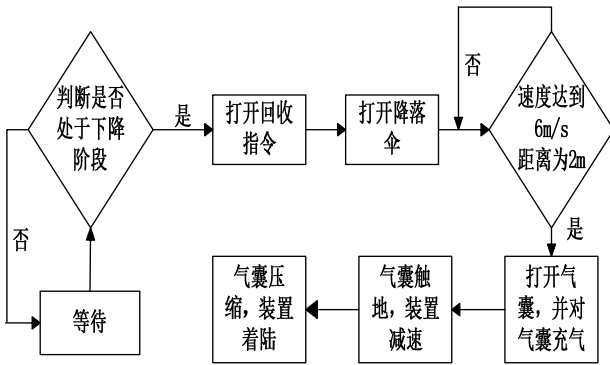


图 1 整体流程图

Fig.1 Integral flow diagram

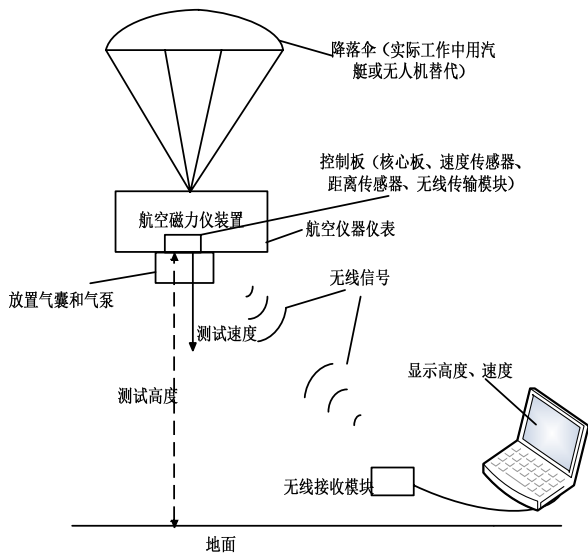


图 2 整体结构图

Fig.2 Integral structure diagram

2 各部分设计与实现

本设计是航空物探仪器回收气囊减震系统空中无线传输，数据采集，数据处理，装置控制部分。空中单片机监测的核心是超声波测距模块，ADXL345 测加速度模块、LCD1602 显示模块、无线传输模块，继电器控制充气装置、报警模块。

地面部分主要是将单片机控制模块、无线传输模块、串口显示结合起来。主要功能是通过无线模块接收空中采集的数据，并通过串行异步通信将接收的数据传输至 PC 机，PC 机通过 Labview 将数据解码提取出高度及三个方向加速度数据，并绘制成走势图。

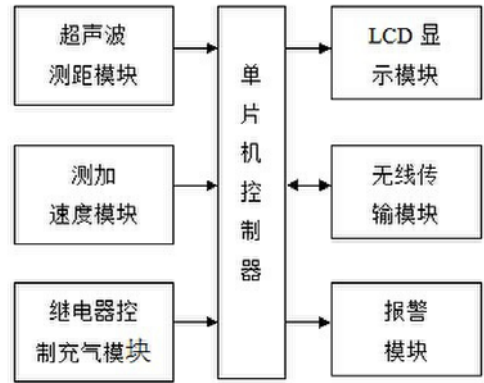


图 3 空中系统硬件设计图

Fig.3 The hardware design diagram of air system

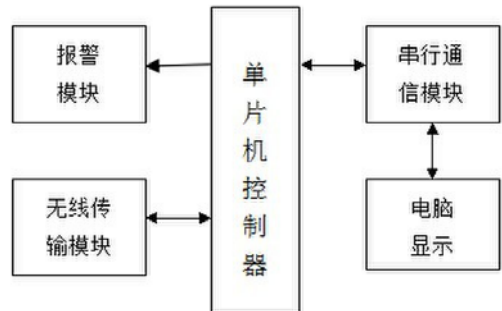


图 4 地面系统硬件设计图

Fig.4 The hardware design diagram of ground system

2.1 ADXL345 测加速度模块

ADXL345 是超低功耗 3 轴加速度计，分辨率高(13 位)，测量范围达 $\pm 16g$ 。数字输出数据为 16 位二进制补码格式，可通过 SPI(3 线或 4 线)或 I²C 数字接口访问，能够测量不到 1.0°的倾斜角度变化。

对加速度模块的数据采集主要是利用串行模式的 I²C 模式进行数据采集，包括初始化 ADXL345，起始信号，停止信号，发送应答信号，接收应答信号，向 IIC 总线发送一个字节数据，从 IIC 总线接收一个字节数据，单字节写入，单字节读取，读出 ADXL345 内部加速度数据，显示 X 轴、Y 轴、Z 轴的加速度。

2.2 超声波测距模块

US-020 超声波测距模块测距时，需要在 Trig 管脚输入一个 10US 以上的高电平，系统便可发出 8 个 40KHZ 的超声波脉冲，然后检测回波信号。当检测到回波信号后，通过 Echo 管脚输出。根据 Echo 管脚输出高电平的持续时间可以计算距离值，即距离值为： $(\text{高电平时间} * 340\text{m/s}) / 2$ ，从而算出模块距地面的高度。其流程图如图 5 所示。

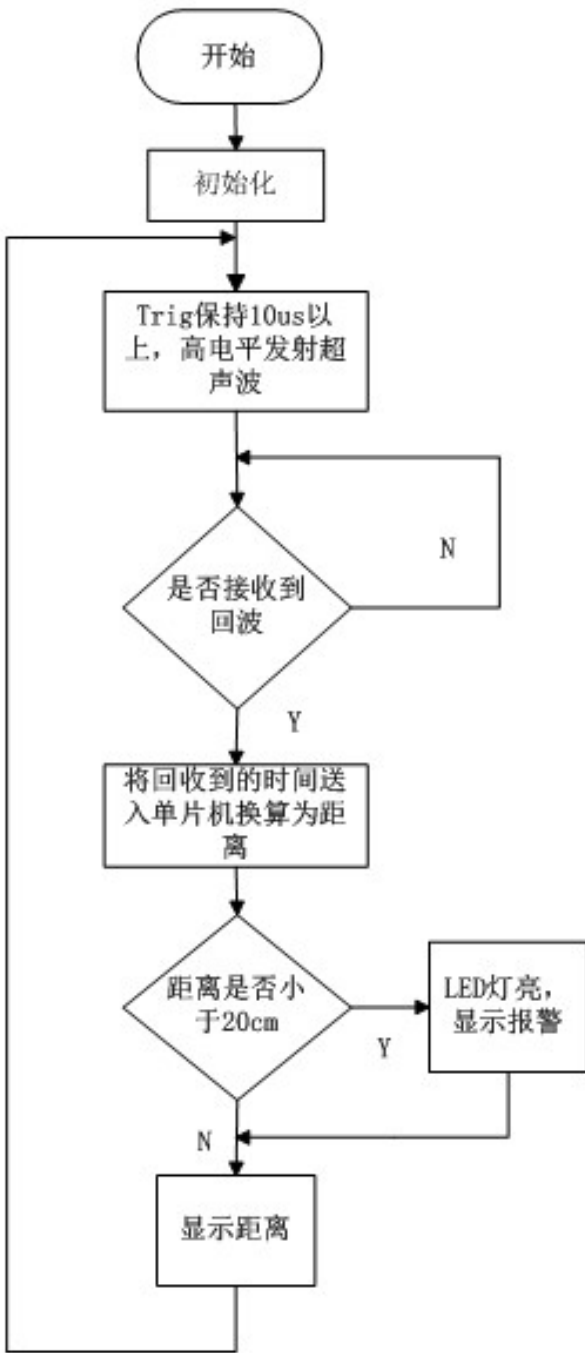


图5 测距流程图

Fig.5 Flow charts of the measured distance

2.3 LCD1602 显示模块

显示部分使用 LCD1602，显示时首先判断 LCD1602 是否忙，如果 LCD1602 忙，则等待直到 1602 不忙为止，若 1602 不忙则可读传感器（加速度传感器、超声波测距仪）所得数据，然后采用相应的转换公式将所得数据显示在 1602 上。其过程如图 6 所示。

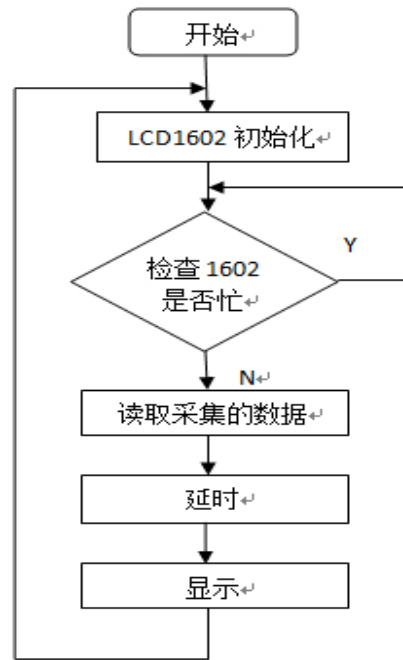


图6 显示部分流程图

Fig.6 Flow diagram of display

2.4 NRF24L01 无线传输模块

无线收发器包括：频率发生器、增强型 ShockBurst™ 模式控制器、功率放大器、晶体振荡器、调制器、解调器。输出功率、频道选择和协议的设置可以通过 SPI 接口进行设置。nRF24L01 在接收模式下可以接收 6 路不同通道的数据。每一个数据通道使用不同的地址，但是共用相同的频道。

所有的数据通道都可以设置为增强型 ShockBurst 模式。nRF24L01 在确认收到数据后记录地址，并以此地址为目标地址发送应答信号。在发送端，数据通道 0 被用做接收应答信号，因此，数据通道 0 的接收地址要与发送端地址相等以确保接收到正确的应答信号。

3 系统测试及分析

经实验测定该系统可在较短的时间内通过两个控制模块可以完成数据采集、数据传输、数据处理与分析，控制气囊充气。下面是各个模块的测试结果。

(1) 可通过空中单片机及外围电路采集每时每刻模型距离地面的高度和当前运动的三维加速度值，并显示在液晶屏上。

(2) 可将空中采集的高度和三维加速度数据通过无线通信发送到地面，地面接收并通过串行异步通信方式发送至 PC 机。

(3)PC 机端通过 labview 软件可将接收到的四种数据进行分析 and 处理, 分别以波形图显示。

(4) 空中单片机可自动控制继电器开关, 来实现给气囊充气, 整个控制系统及硬件模型和外围电路基本完成。

对实验数据进行处理与分析, 去除误差较大数据, 绘制光滑曲线如图 7、图 8 所示。

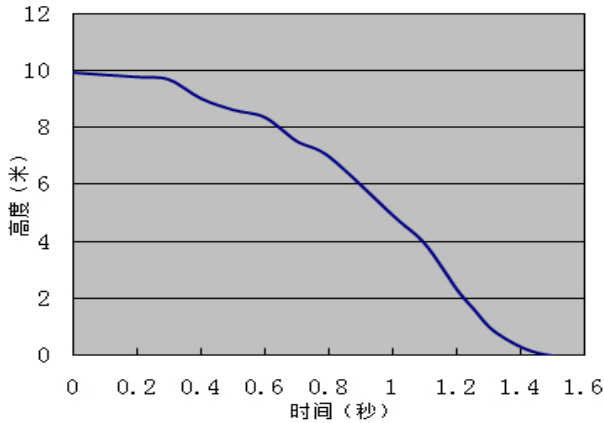


图 7 时间-高度曲线

Fig7. The curve of time-height

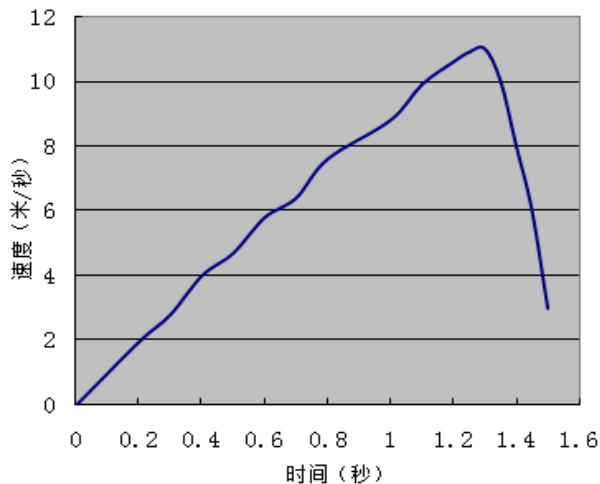


图 8 时间-速度曲线

Fig8. The curve of time-velocity

4 结论

这个航空物探仪器回收气囊减震系统的设计主要是基于 MSP430 单片机控制核心的, 同时以超声波测距并以测量加速度为主的显示并将采集的数据处理分析进行无线传输系统。通过对理论和实际情况的分析, 本设计的设计方案是基本可行。实现了以 MSP430 为主要的控制核心, 本系统在工作时是通过测距传感器以及加速度传感器采集数据, 由单片机控制核心快速地计算出距离障碍物距离并通过 LCD 显示结果, 从而达到安全警示的

目的, 并将空中超声波测距数据和加速度模块所测的加速度数据通过无线模块传输到地面, 并通过串口发送至电脑, 电脑端使用 labview 软件接收数据并进行解帧, 分离高度数据和三个方向的加速度数据, 并做成走势图。

在工作过程中, 信号之间可能会出现干扰, 因此解决无线通讯干扰是整个系统的重点, 下一阶段的工作计划通过实验测取气囊的充气量, 优化整个系统的自动控制部分, 实现充气模块的自动控制与手动控制的目标。

参考文献

1. 张元明. 无人机回收减震气囊的理论研究. 液压与气动, 2005. 1:7-9.
2. 孙希任. GB2019-94, 无人机回收系统通用要求.
3. 樊邦奎. 国外无人机大全. 北京: 航空工业出版社, 2001.
4. Tumer C T, Girard Jr L A. Air bag impact attenuation system for The AQM-34VRP. AIAA 81-1917R, 1981, 1-2.
5. 王国荣. 复合材料概论. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1999. 8.
6. 沈建华, 杨艳琴, 翟晓曙. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用. 北京: 清华大学出版社, 2004. 11
7. 秦龙. MSP430 单片机 C 语言应用程序设计实例精讲. 北京: 电子工业出版社, 2006. 5
8. 张晞, 王德银, 张晨. MSP430 系列单片机实用 C 语言程序设计. 人民邮电出版社, 2005. 9
9. 韩丽茹. 提高超声波测距精度方法综述[J]. 电讯技术. 2010(09)
10. 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[M]. 北京航空航天大学出版社, 2003
11. 李家伟, 王怡之. 超声波检测[M]. 机械工业出版社, 2000
12. 丁守成. 基于 MSP430 单片机的超声波测距系统设计与实现. 现代科学仪器. 第 5 期 2009 年 10 月

近红外光谱脑功能分析仪研制*

刘光达，杨宇，黄林枫，李玉超

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院， 长春 130012)

摘要：随着信息时代科学技术水平的不断发展，人们对脑科学的探索和研究不断深入，同时对脑功能的检测技术提出了越来越高的要求。近红外脑功能分析仪采用近红外光谱术（NIRS），对大脑功能进行无损检测。它主要利用近红外光对人体组织的良好穿透性，让其透过颅骨和外层皮肤进入大脑皮层，利用其部分漫反射光的信息解算出大脑皮层的血氧参数，进一步推知该脑部区域血氧和血容量的变化，从而对大脑皮层的功能进行分析。本套近红外光谱脑功能分析仪器包括由光源—耦合光纤—检测器、光源驱动控制电路、数据采集电路、放大及滤波电路等组成的下位机硬件电路和上位机软件两部分。下位机硬件电路用来实现光电信号的产生、采集并进行硬件滤波，然后通过双机通讯，将数据发送至上位机，由软件完成信号的处理、解算出脑血流动力学参数，进行实时显示、记录、存储。

关键词：近红外光谱术；脑血流动力学参数；光电信号；滤波电路；

中图分类号： TP311.1 **文献标志码：** A

The development of the near infrared spectrum brain function analyzer

Liu Guangda Yang Yu Huang Linfeng Li Yuchao

(Jilin University the College of Instrument Science & Electrical Engineering, Changchun 130012)

Abstract: With the continuous development of information age of science and technology level, with the further exploration and research of brain science, brain function testing technology is higher and higher demanded. Near infrared brain analyzer using near infrared spectroscopy (NIRS) for nondestructive testing brain function. It mainly uses near-infrared light to good penetrability of external layer organization, make it through the outer into the tissue under test, use some of its information decoding bleeding oxygen parameters of diffuse light and further infers the change of blood oxygen and blood volume, the region so as to analyze the functions of the cerebral cortex. This set of brain function near infrared spectrum analysis instrument includes driven by light - coupling fiber - detector, light control circuit, data acquisition circuit, amplifier and filter circuit, under a machine composed of hardware circuit and the PC software. The hardware circuits of single chip processor system are used to produce, in order to realize the photoelectric signal acquisition and hardware filter, by double machine communication, sending data to PC, the collected signal processing and decoding the cerebral hemodynamic parameters, the real-time display, record and storage.

Key words: NIRS; Cerebral hemodynamic parameters; optoelectronic signal; filter circuit

0 引言

目前各种脑检测技术正在不断发展，现有的技

术主要包括脑电图（EEG）、事件关联电位(ERP)、脑磁图(MEG)、正电子发射断层技术(PET)、功能磁共振成像(FMRI)、近红外光谱术(NIRS)等。

与目前已有的脑电图、脑磁图、正电子发射断

*指导教师：刘光达

项目类型：创新项目

层技术、功能磁共振成像等技术手段相比,近红外光谱术(NIRS)不仅是一种非侵入式测量技术,而且具备非常高的毫秒级时间分辨率。利用近红外光谱术开发出的脑功能分析系统在大脑功能检测领域具有十分广阔的应用前景,它具有成本低廉、重量轻、体积小、能耗低等诸多优势^[1]。

1977年,Jobsis第一次用近红外光对动物大脑皮层中的血氧水平进行了检测,开启了近红外成像技术研究的先河^[2]。目前,利用近红外光进行血氧参数测量的研究对象非常广泛,包括皮肤、骨骼肌、肝脏、乳腺和脑组织等。其中,脑作为最高级和最复杂的人体器官,参与一切复杂的心理活动,在生命科学研究领域中占有重要地位。因此,针对脑组织的参数测量既是当前研究的难点课题,也是研究的热点课题。

1 脑功能分析仪检测原理及设计方案

1.1 近红外光谱脑功能检测原理

血液的主要成分(水,氧合血红蛋白和还原血红蛋白)对600--900nm的近红外光具有良好的散射性,这些血液成分在近红外波段的吸收系数不同。

就血氧参数的一般概念来说,氧合血红蛋白(HbO₂)、还原血红蛋白(RHb)浓度是两个基本的参数^[3]。利用近红外光谱技术(NIRS)进行脑功能检测,其原理是:生物组织对近红外光有强散射性和低吸收性,这使得光子可以穿透至深层待测组织;生物组织中的氧合血红蛋白和还原血红蛋白等主要吸收色团在近红外领域具有不同的吸收光谱特性,从而可以辨识出这些吸收色团的浓度变化^[4],如图1:

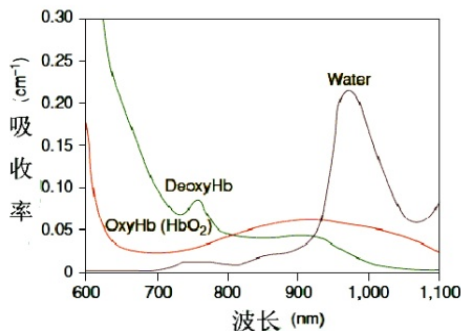


图1 氧合血红蛋白(HbO₂)和还原血红蛋白(RHb)在近红外波段的吸收系数

Fig.1 The absorption coefficient of HbO₂ and RHb under the near infrared spectroscopy

图中两种血红蛋白在805nm附近有一个等吸收点,因此利用波长为805nm的光可表示组织中血容

量的变化。由于在805nm两侧,两种血红蛋白分别表现出各自的相对优势吸收特性,故而在等吸收点的左右两边分别采用780nm和830nm的近红外光来进行检测^[5]。这样就实现了利用近红外光谱术获得大脑活动时血氧浓度的变化,进而根据这些参数进行脑功能的分析。

1.2 近红外光谱脑功能分析仪的设计方案

整套脑功能分析仪包括软件和硬件两个部分,硬件部分由传感器模块、测控模块及串行接口构成,使用单片机作为主控芯片,实现光源驱动控制、分时采样、数据储存等功能,同时将所得到的结果进行信号的放大、滤波后送入上位机软件进行进一步的处理。

其中头盔式光电传感器是由LD半导体激光源、光纤及检测器构成,简图如图2:

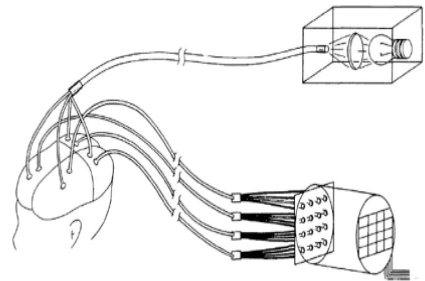


图2 头盔式传感器简图

Fig2. The helmet-shaped sensor

整个脑功能分析仪的各部分模块如图3:

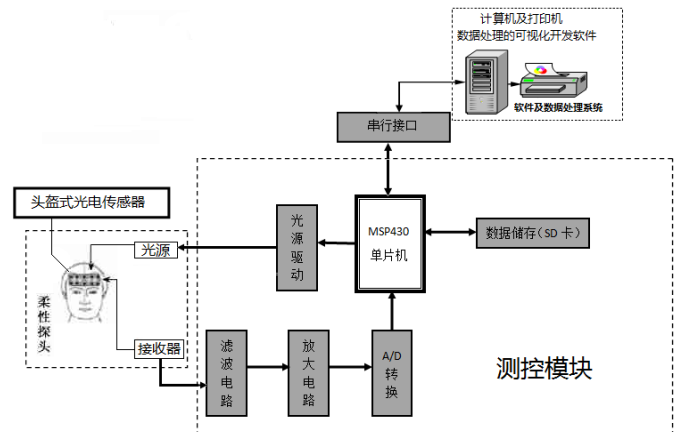


图3 仪器各主要模块

Fig3. The major module of the instrument

软件部分由硬件接口模块、数据处理模块两部分构成,通过与下位机的通讯控制数据采集的开始与结束、读取采集到的数据并完成数据处理。

整体仪器工作总体流程如图4:

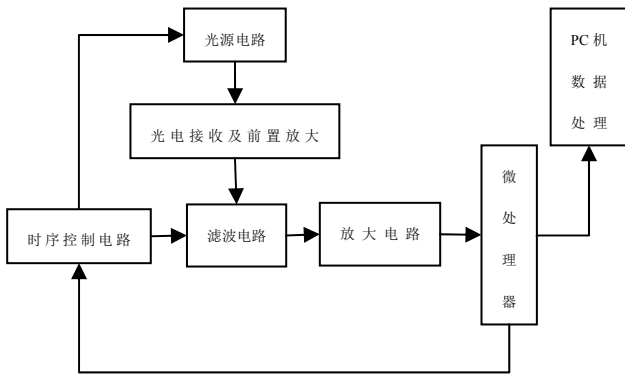


图4 仪器工作的流程图

Fig4. The flow chart of the instrument

2 硬件设计

2.1 硬件放大、滤波电路设计

硬件放大电路采用的放大器芯片为 OP07 芯片。这是一种低噪声，非斩波稳零的双极性运算放大器集成电路。由于 OP07 具有非常低的输入失调电压，所以噪声较小。

前置放大电路设计如图 5:

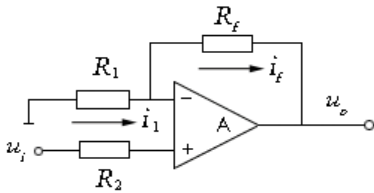


图 5 前置放大电路

Fig.5 the pre-amplification electric circuit

滤波器选用低通滤波器，二次无源型，截止频率为 2000Hz。电路图如图 6:

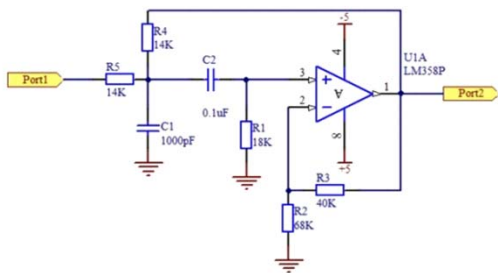


图 6 滤波器电路

Fig.6 the filter circuit

2.2 下位机驱动控制模块设计

下位机驱动控制电路选择的核心控制器为 MSP430F249 单片机。该单片机具有该单片机具有低电源电压、超低功耗且带有硬件串口的优点^[6]。

单片机分时驱动激光源的驱动时序图如图 7:

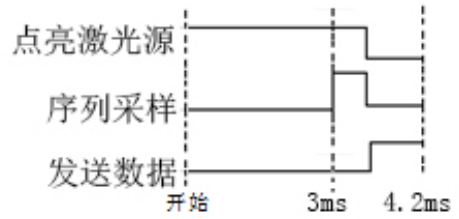


图 7 一路 LD 驱动时序图

Fig.7 One of the LD driver sequence chart

程序设计时，首先点亮 780nm 激光源，延时 3ms 等待稳定，触发一次序列采样，等待采样结束，关掉 780nm 的 LD 激光，发送 780nm 激光的标志位，转换和发送第一个波长（780nm）采集到的数据，一路采集共需要 4.2ms 的执行时间。

一路 LD 驱动电路图如图 8:

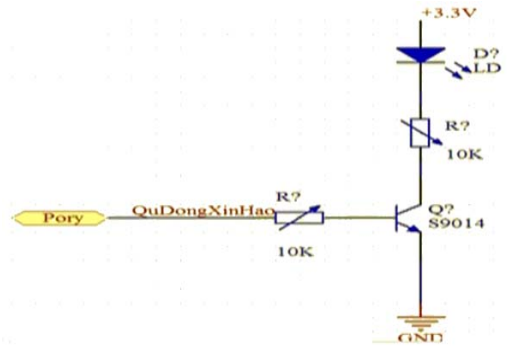


图 8 一路 LD 驱动电路

Fig.8 One of the LD driver circuit

2.3 双机通讯部分硬件设计

下位单片机系统与上位计算机系统通过 MAX232 通信电平接口电路相连。在 MAX3222 芯片电平连接端口，分别连接两 DB9 接头 J1、J2，产生串行通讯所需的接口电平，从而可以通过 DB9 接头 J1、J2 直接连接到 PC 机串行接口^[7]。通过对单片机编程，实现指定协议的双机通讯，使下位单片机得到上位机控制，并可以将采集到的数据发送到上位机。

MAX232 通信电平接口电路如图 9:

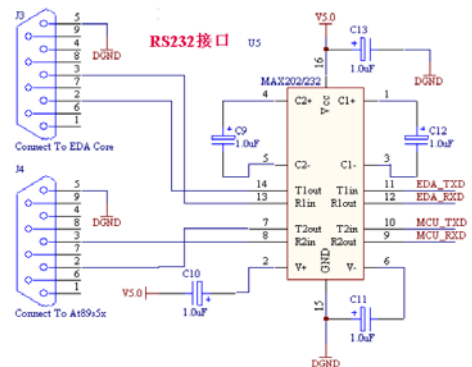


图 9 MAX232 通信电平电路

Fig.9 The MAX232 Communication level circuit

3 数据处理与上位机软件设计

3.1 数据处理

近红外光谱功能检测的实质可以归结于生物组织的光学性质的研究^[8]，这主要包括光在脑组织中传输规律和脑组织信号提取技术两个方面的内容^[9]。

在光子进入散射组织后，会经过数千次的随机散射才离开组织，其确切的路径无法准确得知，但能透过机率的计算推估其可能的路径分布^[10]，如图 10。

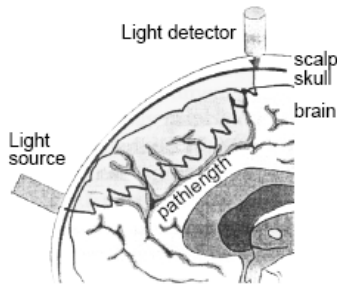


图 10 光在组织中的传播路径

Fig.10 The photon propagation path in the organization

脑组织是一个强散射体^[11]，光在组织中经过多次散射才能从光源到达检测器^[12]。在生物医学光子学研究中，处理光与物质相互作用时，通常主要考虑光的粒子性质，忽略光的波动性和偏振效应等^[13]。由于含 HbO₂ 和 Rb 在近红外光波段具有独特的光学特性，因此以光吸收为基础的测量方法中，这些分子浓度的变化可以监测到^[14]。

近红外光谱脑功能检测的基本原理是把生物组织看成是均一、半无限的介质，应用朗伯-比尔定律 (Lambert-Beer) 描述光在生物组织中的传播^[15]。针对人体组织的特性，对该定律加以修正即得到修正的朗伯-比尔定律。

当光通过均一、无散射介质时，只考虑介质对光子的吸收，入射光强与出射光强之间的关系用朗伯-比尔方程^[16]描述为：

$$OD = \log = eCL \quad (1)$$

式中 OD 为光密度，即出射光强相对于入射光强的衰减。L 为光源到检测器的距离，吸收的体浓度为 C，I₀ 为入射光强，I 出射光强。e 称作消光系数，它是只与吸收体种类和波长有关的常数。

人体生物组织是高散射介质，因此基本的 Lambert-Beer 定律不再适用。因为光子在组织体内传输的路径长度由于多次散射作用而增加，从而极大地增加了光子被吸收的概率。为了体现散射对光损耗的影响，1988 年 Delpy 等^[17]提出了修正 Lambert

-Beer 定律，即

$$OD = \ln = e \cdot C \cdot DPF + G \quad (2)$$

式中 G 代表背景所引起的损耗，DPF 称为差分路径因子，用来描述由于散射引起的光传播路径的加长，相关文献也给出了不同组织中 DPF 的取值范围^[18]。在 DPF 和 G 值可以获取的情况下，可以采用多波长的吸收谱解算出待测物质的浓度^[19]。

3.2 上位机软件设计

上位机软件在设计时，除了要具备与硬件的接口通讯的能力，还应能够准确处理数据，同时方便被用户使用。所以整个软件开发系统应须具备易操作性、界面友好、准确、实时性高等特点。

本仪器配套的上位机软件分为两个部分：一部分是与硬件模块的接口单元，负责串口参数设置、控制硬件采集信号，即与下位机进行串口通信；另一部分负责信号的处理、计算、实时显示和存储。

下面分别对进行介绍：

1. 硬件接口模块

PC 机通过一根串口线与硬件连接，此时上位机应与下位机进行指定协议的通讯。软件通过发送指令来控制采集信号的开始和停止，同时接收下位机发送来的数据并储存。

在开机后应首先提供串口设置界面并在开始采集之前检测串口连接情况，以及所用端口是否正确。

2. 数据处理模块

由于硬件部分采集的数据混合了两个波长的数据，因此首先要进行数据的分离。将接收的数据分成两组分别存储，然后进行滤波。

近红外光谱数据处理的算法如前述。这一部分的软件完成了算法的计算机语言实现，通过计算机平台进行管理与实时显示。软件可以绘制出 HbO₂ 和 Rb 的变化量随时间变化的曲线，并将曲线所记录的结果进行存储，供后续分析使用。

本套上位机处理系统的主要功能在于实时控制、数据处理、显示和存储。目前能够实现这些功能的计算机软件开发软件有很多，如 Matlab、Visual C++6.0、Labview 和 Visual Studio 2010 等。我们选用 Matlab 软件，利用其强大的数据计算的能力完成了算法的计算机语言实现^[20]，并通过其 GUI 平台实现可视化界面的设计。

Matlab 是由美国 Mathworks 公司推出的一款数值计算软件。本实验项目中，Matlab 作为数据处理与计算机平台管理软件，体现了其功能十分强大的数据处理和可视化平台开发的优势。

整个上位机软件设计的流程图如图 11 所示

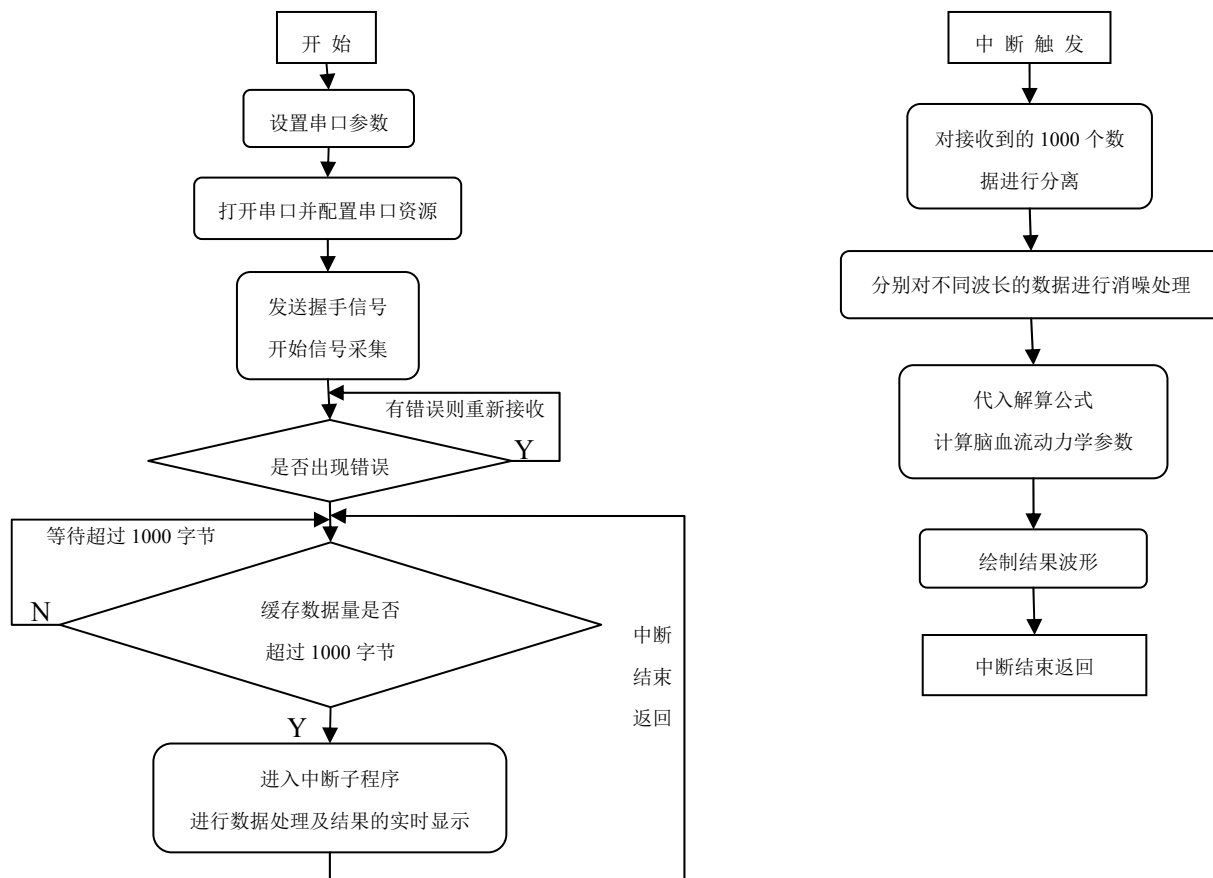


图 11 软件流程图

Fig.11 The software flow chart

4 实验结果

硬件部分搭建完成封装后，通过一根串口线与上位机相连。上位机基于 Matlab 的 GUI 工具所设计的操作界面如图 12。

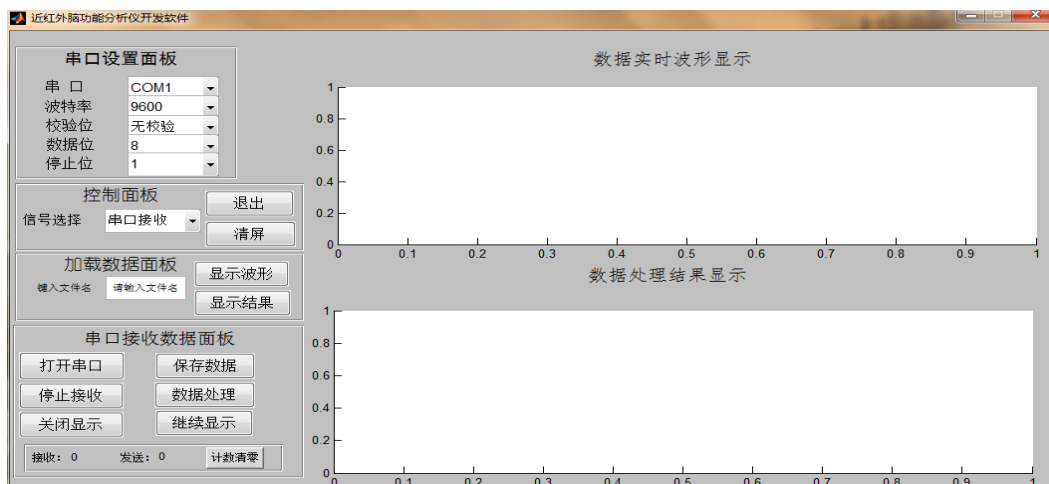


图 12 软件操作界面

Fig.12 The software operation interface

整套系统搭建测试完成后，选择一名志愿者作为实验对象进行实验，绘制了氧化血红蛋白浓度的

变化量和还原血红蛋白浓度的变化量随时间变化的曲线，曲线如图 13。

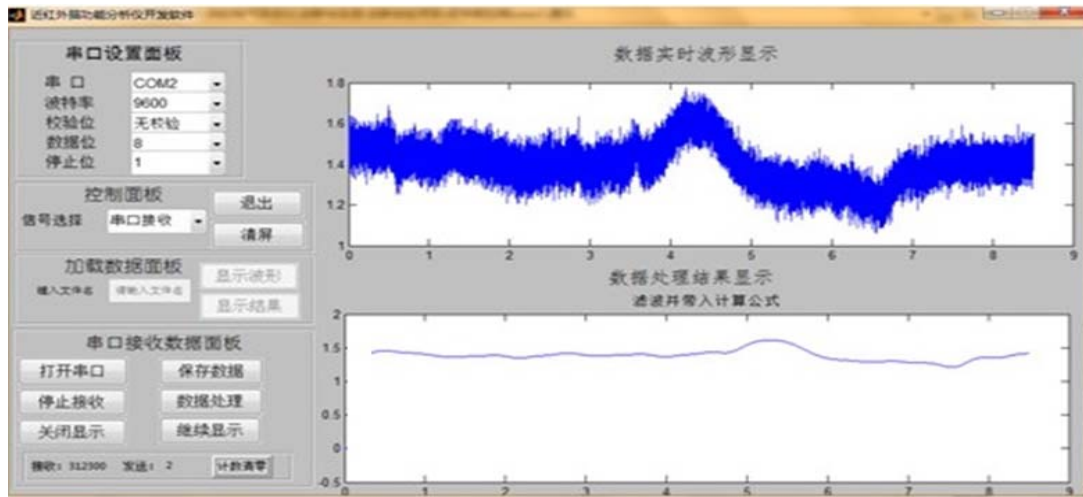


图 13 脑血流动力学参数变化量随时间变化的曲线

Fig 13 Curve of cerebral hemodynamic parameters variation

5 结论

近红外光谱术，作为非侵入式的光学监测手段，具有实时，可连续，等优点，在生物医学领域应用范围越来越广泛。基于近红外光谱术的大脑功能监测系统能够实时，非侵入地测量大脑皮层中某个区域的氧合血红蛋白和还原血红蛋白的浓度相对变化量，从而对大脑皮层的功能活动进行监测。基于该技术的脑功能分析系统方便携带，操作简单。

本课题组在分析了近红外光谱技术的发展、应用现状的基础上，研究了其用于脑血流动力学参数的检测原理，并基于该技术设计研制了一套脑功能分析仪。本文从该仪器设计过程中的软、硬件两个方面分别介绍了该分析仪的设计方案、器件选择、实现功能。最后给出了实验的结果——使用该仪器绘制了脑血流动力学参数相对变化量随时间变化的曲线，完成了脑功能的分析。

参考文献

1. Villringer A, Chance B. Non-invasive optical spectroscopy and imaging of human brain function[J]. Trends Neurosci. 1997, 20:435- 442.
2. 郑毅, 骆清铭, 刘谦, 李婷, 张中兴, 龚辉. 适于脑功能活动检测的便携式近红外光谱仪的研制. 中国生物医学工程学报 [J]. 2007, 12, 26-6.
3. 丁海曙, 腾轶超, 李岳, 等. 我国首次研制出

近红外组织血氧参数无损监测仪应用于临床 [J]. 中国医疗器械信息. 2005, 11(3): 30a- 30d.

4. 张岩. 基于近红外光谱技术的脑功能活动信号提取方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学博士学位论文. 2011. 06
5. 王海. 颅脑功能无创非接触检测技术的研究 [D]. 东北大学博士学位论文. 2008, 03
6. 张琦, 张英. PC 机与 MSP430 单片机串行通信的实现方法 [J]. 中国工程机械学报. 2007, Vol. 5, No. 1
7. 邓攀, 高云, 褚乃强. 基于 MSP430F2001 单片机与 PC 机串行通讯接口的设计与实现[J]. 武汉工程职业技术学院学报. 2011, vol. 23. No. 1
8. 李良成. 张永顺. 李忠红. 近红外脑血氧监测设备在临床中的应用 [J]. 激光与红外. 2007, 28(2): 44-48
9. 胡汉彬. 功能近红外光谱成像研究及应用[D]. 中国科技大学硕士学位论文. 2010, 5, 12.
10. 甘苗. 近红外脑功能成像仪的研制及在阅读障碍研究中的应用[D]. 华中科技大学硕士学位论文. 2004, 4, 20
11. Wanatabe E. Nagahori Y. Mayanagi Y. Focus diagnosis of epilepsy using near-infrared spectroscopy. Epilepsia, 2002, 43: 50-55
12. 郑毅, 骆清铭, 刘谦, 李婷, 张中兴, 龚辉.

- 适于脑功能活动检测的便携式近红外光谱仪的研制[J]. 中国生物医学工程学报.2007,Vol.26,No. 6
13. 吴欣.基于近红外光谱技术的脑血氧检测技术的研究[D]. 哈尔滨工业大学硕士学位论文.2010,07
 14. 赵军.新生儿大脑组织光学参数的无损检测[D]. 清华大学生物医学工程学科博士学位论文.2004:1-13
 15. 王翔.双波长脑血氧检测的信号处理及其临床应用[D].武汉大学硕士学位论文.2005,05
 16. 丁海曙, 腾轶超.组织血氧参数近红外无损检测技术及自主创新之路[J]. 激光与光电子学进展.2007, Vol.44, No.9
 17. Delpy DT,Cope M,Vander Zee P,et al. Estimation of Optical Pathlength Through Tissue from Direct Time of Flight Measurements[J]. Physics in medicine and biology,1988,33(12):1433-1442.
 18. Duncan A, Meek J H,Clemence M,et al. Optical Pathlength Measurements on Adult Head, Calf and Forearm and the Head of the Newborn Infant Using Phase Resolved Optical Spectroscopy[J]. Physics in Medicine and Biology,1995,40(2):295-304.
 19. Van der Zee P,Cope M,Arridge S R,et al. Experimentally Measured Optical Pathlengths for the Adult Head,Calf and Forearm and the Head of the Newborn Infant as a Function of Inter Optode Spacing [J]. Advances In Experimental Medicine and Biology,1992,316:143-153.
 20. 许志影.李晋平.Matlab 及其在图像处理中的应用[J].计算机与现代化.2003,4(92):64 — 69

对蓄电池智能充放电系统的研究*

孙彩堂; 孙建龙; 刘慧昌; 车靖峰

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 现今的蓄电池的使用寿命短, 利用率不高。为了提高蓄电池的使用寿命和利用率, 本论文设计了一套智能充放电系统, 利用该系统对蓄电池的充放电过程进行管理。其中充电过程分为恒压和恒流两个阶段, 在充放电过程中能够对电压、电流和温度等状态进行检测, 并根据检测状态对充放电的电压电流进行智能控制, 产生报警信号。实验结果表明, 该系统能够在工作过程中比较准确地检测蓄电池的工作状态, 并自动切换充电方式。

关键词: 智能控制、恒压源、恒流源、状态检测、报警

Research on intelligent battery charging and discharging systems

Sun Caitang; Sun Jianlong; Liu Huichang; Che Jingfeng

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012)

Abstract: Today's battery life is short, utilization is not high. In order to improve battery life and efficiency, this study uses an intelligent system for charging and discharging the battery charge and discharge. The smart battery charge and discharge system management process, and the constant current constant voltage charging process is divided into two stages, while the charging voltage and discharge current and temperature conditions of the process for detecting, based on the detected state of charge and discharge voltage and current for intelligent control. Overheating will alarm. According to the experimental results show that the intelligent charging and discharging system we can better understand the working status of the battery, temperature alarm device can also prevent damage to the battery overheating in the state.

Keywords: intelligent control, constant voltage source, constant current source, parameter detection, alarm

0 前言

由于人们对资源的逐渐重视, 为了能够更好的利用和节约能源, 对于蓄电池的充放电技术的研究越来越深入。

从 20 世纪开始, 国内外就有很多学者对其进行了研究。1998 年南化集团研究院的何刚针对铅酸蓄电池的无极添加剂展开研究^[1]; 进入 21 世纪, 随着科学技术的发展, 研究更加深入。2003 年张晓东^[2]用 MSP430 单片机监测的方法实现了对蓄电池剩余电量百分比的实时测量, 能精确的控制充放电过程; 徐丽华^[3]选择三相电压型 PWM 变流器作为主电路的拓扑结构, 并建立了三相 PWM 变

流器的数学模型, 实现了对蓄电池的半智能化控制; 蔚兰等^[4]提出了一种智能充放电铅酸蓄电池的设计方法, 研制了智能电极系统; 张保凯^[5]设计了一种基于 ATmega16 单片机的铅酸蓄电池智能充放电控制器, 采用了按涓流短时充电、大电流充电、过充电、浮充电的模式, 解决了普通充电器将蓄电池充坏的技术难题; 刘伟杰^[6]采用基于以太网转 CAN 总线网络的分布式电池控制系统, 上位机通过以太网转 CAN 总线来控制各个采集结点, 采集蓄电池在工作过程中的状态参数。

国外在这方面也有很大的成就。欧洲国家陆续提出了一些新型的充电方法, 如分级定流充电法、脉冲式充电法、定化学反应状态法、变电流间歇定电压充电法、变电压间歇定电流充电法等

*指导教师: 孙彩堂

项目类型: 创新项目

[7]; 美国 BMS 蓄电池监测系统技术发展于电力应用工业, BMS 系统可以向工作人员提供有关剩余电量的信息及电池性能接近极限状态时报警; 美国科学家发现了温度对蓄电池充电特性的影响, 并发现了蓄电池充电电流的指数变化趋势。美国科学家可马斯在研究蓄电池充电时发现了析气现象, 并且在充电过程中对充电电压实施了控制[8]; 德国科学家 Peukert 对蓄电池采用不同速率放电时发现了放电速率对蓄电池容量的影响[9]。另外, 还有人研究了 VMS (VRLA Battery Management System) 阀控密封铅酸蓄电池管理系统。这个管理系统具有管理和控制蓄电池的功能。

本论文设计了一套智能充放电系统, 通过利用该系统对蓄电池的充放电过程进行管理。其中充电过程分为恒压和恒流两个阶段, 在充放电过程中能够对电压、电流和温度等状态进行检测, 并根据检测状态对充放电的电压电流进行智能控制, 产生报警信号。

1 总体设计方案

蓄电池充电过程包含恒压和恒流两个阶段。当蓄电池电压比较低的时候, 由于电池的内阻较低, 为了防止充电电流过大导致电池损坏, 首先选用恒流充电。蓄电池的内阻会随着充电时间的延长而增加, 在充电过程中, 蓄电池两端的电压达到预定值的时候, 切换到恒压充电。系统需要对蓄电池的电压、电流和温度进行检测, 并根据检测结果切换充电方式。总体设计框图如图 1 所示:

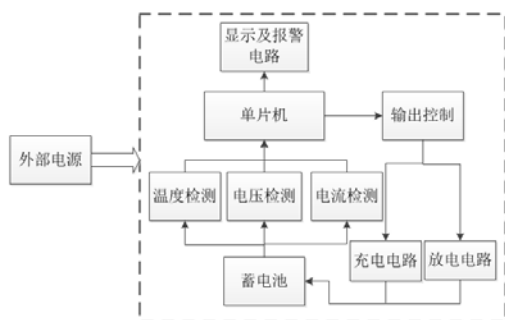


图 1 系统总体设计框图

Fig 1 design block diagram of overall system

系统包含以下几个模块: 电压、电流及温度检测模块、显示报警模块、电源电路模块、充放电模块以及外部控制模块。为了能够实现系统的智能化, 需要采用单片机作为主控芯片, 通过电压、电流及温度检测模块对当前的蓄电池进行数据监测, 控制继电器对恒压和恒流阶段进行切换,

控制报警模块达到预警的效果。

2 电路的设计

2.1 恒压源

蓄电池的充电过程需要用到直流电, 采用整流电路先将输入的交流电转换为直流电, 然后使用滤波电容进行滤波, 滤波输出送到 LM7805, 达到稳压的目的, 运算放大器 741 起到电压跟随的作用, 保证输出电压恒定。通过对 R3 的调节可以改变输出电压, 使输出电压稳定在 14V。恒压源电路如图 2 所示:

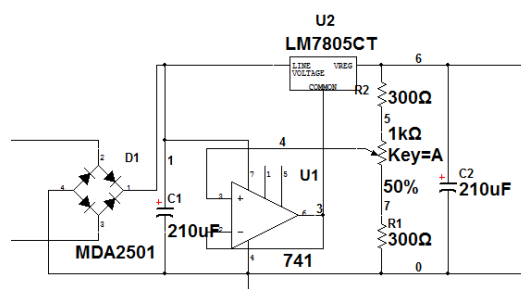


图 2 恒压源电路图

Fig 2 Circuit diagram of constant voltage source

2.2 恒流源

恒流源电路就是要能够提供一个稳定的电流, 以保证其它电路稳定工作, 这要求作为输出级的器件应该具有饱和和输出电流的伏安特性, 本文采用工作于输出电流饱和状态的 BJT 来实现。恒流源电路如图 3 所示。

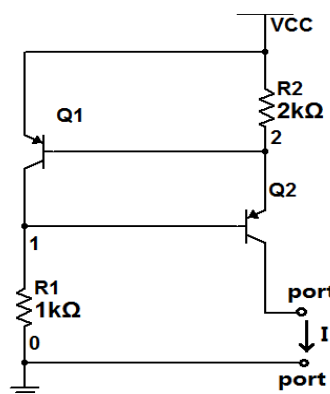


图 3 恒流源电路图

Fig 3 Circuit diagram of constant current source

为了保证输出晶体管的电流稳定, 就必须满足两个条件: a) 其输入电压要稳定—输入级需要是恒压源; b) 输出晶体管的输出电阻尽量大(最好是无穷大)—输出级需要是恒流源。本文中恒流源所需要的电源由恒压源提供。

其中, Q1 和 Q2 采用的是 8550, 它是一种低电压、大电流、小信号、跨导高的 PNP 型三极管, 具有良好的恒压性能。Q1 给 Q2 提供一个稳定的电压, 电流由 Q2 的集电极输出。

2.3 电压采集

电压采集电路主要由一个差分放大电路和一个电压跟随器组成, 如图 4 所示。运算放大器选用的芯片是 OP07 和 LM358。其中 OP07 与电阻共同组成差分放大电路, LM358 用作电压跟随器。

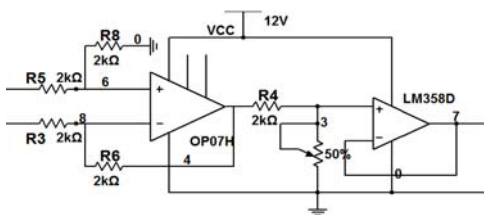


图 4 电压采集电路图

Fig 4 Circuit diagram of voltage acquisition

2.4 电流采集

电流采集电路如图 5 所示, 首先利用电流互感器 ACS712ELCTR 将 0-5A 电流值转换为 0-5V 电压值, 转换输出经过两个电压跟随器 LM358 送到 OP07 组成的差分电路。最终将电流信号转换为电压信号传送至单片机中。

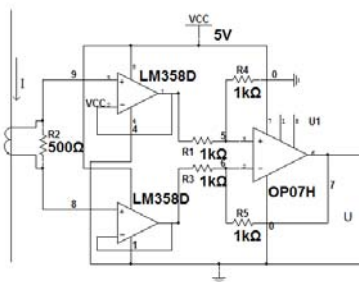


图 5 电流采集电路图

Fig 5 Circuit diagram of current acquisition

2.5 温度采集

温度采集电路如图 6 所示, 其中主芯片选用 DS18B20, 它具有独特的单线接口方式, DS18B20

在与单片机连接时仅需要一条口线即可实现微处理器与 DS18B20 的双向通讯。测温范围 $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$, 固有测温误差 1°C 。

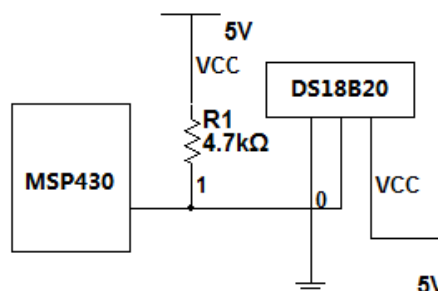


图 6 温度采集电路图

Fig 6 Circuit diagram of temperature acquisition

2.6 报警电路

报警电路如图 7 所示。当电压超过 14.6V、电流超过 1.2A 或者电池表面温度超过 60 度时, 由单片机发出控制信号各自对应的红色 LED 会发光警告, 同时蜂鸣器报警。

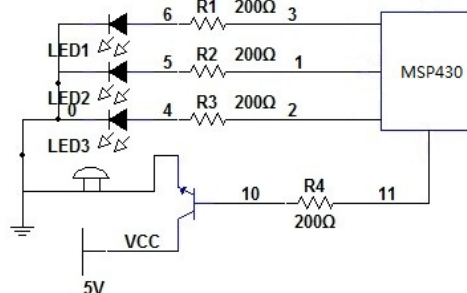


图 7 报警电路图

Fig 7 Alarm circuit diagram

3 智能控制的实现

通过 MSP430 来控制电压源和电流源的相互切换。在恒流充电过程中, 由于蓄电池内阻逐渐增大, 充电电压也会逐渐升高。当电压高到一定值时, 会在电池内部产生大量气泡, 造成电池损耗。

通过单片机编程控制, 当电压达到 14V 时, 通过输出控制继电器关断恒流充电转换为恒压充电, 实现智能控制的功能。

4 实验分析

根据蓄电池的参数确定充电时的电压和电流。一台 7AH-12V 的蓄电池，在恒流充电的过程中，电流保持在 700mA，充电电压也随之变大；经过一段时间后，当电压达到预定值时，转为恒压充电，电压保持 14V，这时充电电流会逐渐减小，直至电池充满，完成充电过程。表 1 为恒流充电过程中采集的数据，表 2 为恒压充电过程中采集的数据。

表 1 恒流充电过程数据采集

Table.1 Data collection of constant current charging

充电时长(h)	1	3	5	7	9
电压 (V)	12.2	12.7	13.8	13.9	14.0
电流 (A)	0.72	0.72	0.72	0.69	0.60
温度(°C)	20.1	24.6	24.6	24.6	24.6

表 2 恒压充电过程数据采集

Table.2 Data collection of constant voltage charging

充电时长(h)	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9
电压 (V)	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
电流 (A)	0.60	0.54	0.32	0.11	0.11
温度(°C)	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5

由上表可以看出，在充电过程中，蓄电池的内阻随着充电过程而逐渐增大，当蓄电池电量接近饱和时，其内阻几乎不变。

5 结论

本文设计了一套蓄电池智能充放电系统，实现了对充放电过程中蓄电池状态的监测，并利用单片机控制，实现了充电过程中充电方式根据工作状态的自动切换。但是系统也存在着一些缺点，恒压和恒流阶段充电过程中电压和电流的稳定效率比较低，蓄电池工作过程中的电压、电流及温度参数的检测也受到部分元件的性能和环境因素的影响而不精确，这些都是下一步需要改进的问题。

参考文献

- 何刚, 无机添加剂对铅蓄电池充放电过程的影响[J], 化学工业与工程技术, 19 (1), 1990. 3. 25: 7-8
- 张晓东, 国内外蓄电池监测系统的现状及发展趋势[J], 农机化研究, (3), 2002. 8: 18-19
- 徐丽华, 基于 PWM 技术的铅蓄电池充放电装置的研究[D], 成都: 西南交通大学, 2005. 5. 1
- 蔚兰, 岳燕, 刘启中, 余朝刚, 电动汽车蓄电池充放电装置控制系统设计[J], 电力电子技术, 43 (9), 2009. 9. 20: 9-10
- 张保凯. 基于单片机的蓄电池智能充放电控制器研究[D]. 大连: 大连海事大学. 2013. 6
- 刘伟杰. 一种基于 STM32 的铅酸蓄电池智能充放电系统的设计 [J]. 研究与设计. 2013, 4:33-36
- 陈红雨, 吴玲, 任超. 从欧洲蓄电池会议看国外铅酸蓄电池的研究动态 [J]. Chinese Labat Man. 2000, 4:35-37
- C.N.Zhang, B.F. Wu, F.Ch. Sun, W.Zhang. Pulse Quick Charger of Electric Vehicle. Beijing Institute of Technology[J]. 2002, 11(3):240-241.
- Dennis Doerffel, Suleiman Abu Sharkh. A critical review of using the Peukert equation for determining the remaining capacity of lead-acid and lithium-ion batteries. Power Sources[J]. 2006, 155(2):395-400

人形机器人的自动编排动作上位机 软件设计与实现*

曹明明 康利利 胡雪岩

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院)

摘要: 为人形机器人设计一种能够对机器人动作进行自动编排的上位机软件, 基于 Windows 7 操作系统下以 Visual Basic 6.0 作为开发环境对软件进行设计与开发, 机器人上位机软件可以实时控制机器人舵机的转动角度和速度, 并将机器人动作进行自动编排整合, 同时利用串口调试与机器人进行通信. 完成对机器人的调试和控制。

关键字: 机器人 上位机软件 串口通信

The automatic choreographed PC software design and realization of the humanoid robot

Cao Mingming Kang Lili Hu Xueyan

(Collage of instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: To design a humanoid robot to the robot motion for automatic arrangement of PC software, based on the Windows 7 operating system with Visual Basic 6.0 as development environment to design and development of software, PC software can control the robot real-time robot the rotation Angle and speed of the steering gear, plus the orchestration of the robot motion for automatic integration, at the same time using a serial port debug and robots to communicate. To complete the debugging and control of the robot.

Keywords: Robot PC software Serial port communication

一 引言

机器人是一门综合性很强的学科, 有着极其广泛的研究和应用领域。仿人形机器人是机器人技术中的一个重要研究课题, 而双足机器人是仿人形机器人研究的前奏。步行技术是人与大多数动物所具有的移动方式, 是一种高度自动化的运动, 由于双足机器人具有多关节、多驱动器和多传感器的特点, 而且一般都具有冗余的自由度, 这些特点对其控制问题带来很大难度, 为各种控制和优化方法提供理想的实验平台。

人形机器人动作的调试是一个相当复杂的过程, 如果对单片机编程来实现给机器人运动的功能,

无疑程序会相当复杂, 不利于实时观察动作效果。因此, 开发了机器人上位机动态调试软件, 为编辑调试动作提供了一个方便快捷的途径。使其成为一个令人瞩目的研究方向, 目前已有的上位机软件大多都是对机器人舵机的单个调试, 没有对人形机器人的动作进行整合, 而且不能够自动生成可供机器人程序下载的 C 语言。因此设计和制作一个可以对机器人动作进行自动编排而且能够自动生成供机器人直接下载的 C 语言的上位机软件为机器人的控制和实验具有非常重要的实际操作作用。

二 设计思路

上位机在基于 Windows 7 操作系统下采用

*指导教师: 陈祖斌

项目类型: 创新项目

Visual Basic 进行编写, 这样可以使人形机器人具有良好的人机交互界面。上位机软件通过调节进度条来调节各个舵机的运行参数, 并将参数添加到上位机的运行界面, 同时上位机可以实现修改, 复位, 添加间隔, 删除, 保存等功能, 在实验运行完成后可以将成功的数据自动生成适合机器人运行的 C 语言程序, 从而实现人形机器人的动作控制的自动编排。

2.1 通信方式的选择

单片机集成的通信模块常见的有 USB、以太网、异步串行通信口(简称串口), 其中以串口最为普遍易用。从基本的 C51 系列 8 位单片机到 32 位单片机都集成了串口模块。而且台式机电脑与工程笔记本一般也设有串口端口, 对于没有串口的笔记本则可使用 USB 转串口线。串口通信速率通常在 9600bps 到 115200bps 间, 对于状态发送和指令接收已经足够。系统调试一般为现场调试, 串口 15m 的通信距离也满足要求。因此, 本文选用串口作为上位机软件与单片机通信的通信方式。上位机软件在 PC 端执行, 通过串口线, 接收单片机传来的状态信息, 并通过串口向单片机传输指令。为单片机编写专门的状态信息发送服务程序和指令处理函数。

2.2 设计软件的选择

作为非专业的程序开发人员, 可能会基本的 C/C++ 编程, 但 windows 环境下编程, 需要用到大量的 API, 直接用 C/C++ 结合 Win32 SDK 设计具有显示功能的软件, 耗时耗力且没有必要, 因此设计选择的开发工具应尽量能简化 windows 的底层知识, 常见的可视化编程软件有 VisualC++, Java, Visual Basic, Labview, 其中 VisualC++ 和 Java 强大但不够易用, 不适合非专业程序开发人员使用, Labview 比较易用, 但不够灵活, Visual Basic 在易用性和灵活性间取得一个比较好的平衡。对于本次设计, 功能更加强大而且易用, 其一个重要的特点就是, 使用可视化编程, 窗口设计像画图一样简单, 本文所介绍的上位机软件设计, 语言严谨易懂, 其生成的程序可在其他计算机上独立执行。

2.3 自动生成 C 语言功能的实现:

此次控制采用 8 位 STC12C5A60S2CPU, 其分辨率为 $2^8=256$ 。经过舵机的极限参数实验, 得到应该将其划分为 250 份, $2.5\text{ms}-0.5\text{ms}=2\text{ms}=2000\text{us}$, 所以 PWM 控制精度为 $2000\text{ms}/250=8\text{us}$ 。所以我们将采取 8us 为控制舵机转动的最小单位。舵机可转最大角度为 185 度, 可得舵机控制精度为 $185\text{度} \div 250=0.74\text{度}$, 将每一个 0.74 度定义为一个位置每

个位置叫 1DWT。这样计算出我们机器人舵机转动所需的脉冲宽度, 从而利于如下程序实现自动生成 C 语言的功能。

```
For i = 0 To List1.ListCount - 1
  If Mid(List1.List(i), 1, 2) = "舵机" Then
    For j = 0 To 7
      If Val(Mid(List1.List(i), 5 + 9 * j, 2)) < temp(j)
        temp(j) = Val(Mid(List1.List(i), 5 + 9 * j, 2))
      Print #fn, "chang(" + CStr(j) + "," + CStr(temp(j))
        + ");"
      Print#fn, "sleep(" + CStr(Val(Mid(List1.List(i), 3,
        4))) + ");"
```

三 在 VB 中串口接收数据方式

3.1 在 VB 中串口接收数据的方式

3.1.1 在 OnComm 事件中接收数据

这种方式能充分 MSCOMM 控件的特性。OnComm 事件还可以检查和处理通讯错误; 可以通过检查 CommEvent 属性的值来查询事件和错误; 对于不定长数据以及对数据进行处理比较复杂的情况, 此法不是很方便。

3.1.2 轮循法采集数据

对于数据包方式收发数据以及不需即时响应情况, 用轮循法更好些。实际上轮循法最大的好处在于集中处理数据而且不太占用 CPU。轮循法要注意定时采集的时间片段大小; 这里用二进制收发模式; 使属性 RThreshold、SThreshold 为 0, 屏蔽 ONCOMM 事件。

3.2 VB 串口接收发送数据的选择

考虑到该实验中数据并不是特别的复杂, 采用在 OnComm 事件中接收数据, 充分的运用 MSCOMM 控件的特性, 可以方便的检查和出理通讯错误同时也可以通过检查 CommEvent 属性的值来查询事件和错误, 这样便于实验数据的传输。

3.3 MSComm 控件在上位机的实现

在 VB5.0/6.0 中新建一个工程文件。添加 Microsoft Comm Control 5.0 组件, 在简体 Form1 中加入 Command 命令按钮并取名为 CmdTest, MSComm 控件取名为 MSComm1, 并通过以下主要语句实现 MSComm 控件的功能。

```
Private Sub cmdTestClick ( ) ' 打开串口
  MSComm1.CommPort = 2 ' 设定 Com2
  If MSComm1.PortOpen = False Then
    MSComm1.Settings = "9600,n,8,1" ' 9600 波特率, 无校验, 8 位数据位, 1 位停止位。
```

```

MSComm1.InputLen = 0 接收二进制数
MSComm1.InputMode=ComInput ModeBinary
Buffer=MSComm1.Input
    
```

特别需要注意的是在发送字符数组数据时注意
ByteArray 必须事先定义赋值，

四 机器人上位机主要模块

4.1 机器人关节舵机运动值调节模块

机器人完成各种动作的动力源采用的是舵机。舵机的控制信号为周期 20ms 的脉宽调制 (PWM) 信号，其中脉冲宽度从 0.5-2.5ms，相对应舵盘的位置为 0° ~180°，呈线性变化。要实现机器人所完成各种动作需用到分舵机分时控制原理。具体的，



图 1 各舵机对应的脉宽变量数值调节块

4.2 机器人上位机软件功能模块

通过图 3 所示的上位机功能模块，可以对机器人相应动作所对应的各个舵机的脉宽变量数值进行整合，而且方便机器人动作的自动编排，而且可以对所需改动的动作进行修改，删除和保存等功能，同时可以将所对应的动作的自动转换成可供机器人直接下载的 C 语言程序，更方便机器人调试和实验，有效的节省了编程时间。

五 系统测试

该软件的调试过程为软件组装测试的方法，首先测试一个基本模块，测试完成后把下一个要测试

给每个分舵机定义一个角度所对应的脉宽变量，并赋予初始值为舵机的中间角度，还要给定时器设定初值既是舵机的 PWM 波脉宽初值。当每次定时器时间到产生溢出中断，进入终端服务子程序后，首先把所有的舵机控制输出口拉低清零，再给某一位置为高，并给赋予 PWM 脉宽的定时时间。最后移位使下次进入中断时给下一位置高，相当于将时间片传递给下一个舵机驱动。当每一位舵机控制输出口都被循环置高定时一次后，再补上 20ms 周期剩下的时间把所有的控制口拉低定时，通过这种方式模拟输出 20ms 为周期的 PWM 波，来控制舵机转动。图 1 为上位机中各个舵机对应的脉宽。

变量的数值调节模块，通过 Vb 中 VScroll 控件来实现对数值的调节。

的模块组装到已测试好的模块中进行测试，逐步把所有模块组合在一起，并完成测试。该软件分为机器人关节舵机运动值调节模块，机器人上位机软件功能模块，串口通信控制模块分别进行调试，最后集成调试，最终使软件稳定运行。在此过程中出现一些问题，如在舵机控制模块调试时，部分舵机控制工作出现异常，但是经过后续对程序的修改，已经得到改善。测试表面，系统实现了预定要求，能通过上位机对机器人进行编程控制。图 2 为最终上位机软件界面。

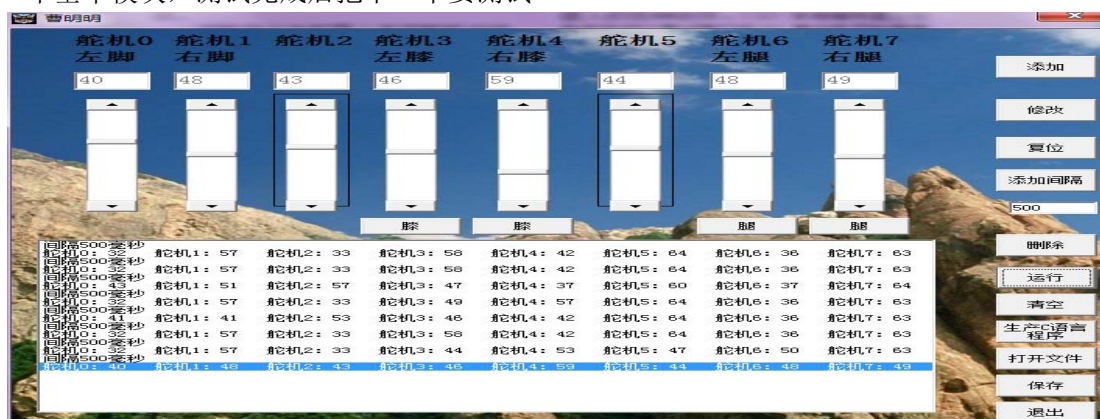


图 2 上位机软件界面

六 结论

该软件最终实现如下功能：

(1)机器人上位机软件可以利用串口调试与机器人进行通信；(2)机器人上位机软件可以实时控制机器人舵机的转动角度和速度，从而完成机器人的各种动作。(3)本地服务器上位机软件可以通过串口与 51 单片机实验板通信，并可通过无线通信控制机器人运行，方便在 51 单片机实验板上进行实验。在设计时，由于受到时间和个人能力的限制，软件系统的功能还不是很完善。所以在今后的学习中，继续完善机器人上位机软件，美化上位机软件操作界面，增加舵机控制数量，简化操作流程，力求做到更好的机器人上位机软件。

参考文献

1. 陈显亭、董金刚，一种教学机器人上位机软件设计与实现，高科技产品与研发，2012，1671—7597
2. 谭灵焱、吴军、文先益，自平衡人形机器人动作控制器的设计，电子科技，2010，1007-7820
3. 李长林. VisualBasic 串口通信技术与典型实例 [M].北京:清华大学出版社, 2006.
4. 孔旭, 仿人关节型机器人创新平台设计与开发 [A]2011, 1003-9767
5. Dehong Cong, Ning Xu, Design and Implementation of Contest Robot Control System
6. Zhang Rui, Altium Designer 6.0 schematic and PCB design, Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007.
7. Tao Junyuan, Li Desheng, Jin Ming Harbin Institute of Technology, China, Novel Electromagnetic Driving Soccer Robot Platform, 2010

超级电容快速充放电特性研究*

徐飞; 董雪峰; 吴海峰

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春, 130022)

摘要: 本文简单介绍了超级电容的原理, 国内外的发展现状。重点对超级电容充放电的特性进行了研究, 并提出了对超级电容充电情况的优劣的评价方法。试验中, 分别用恒压充电模式、恒流充电模式进行充电试验。对单个超级电容快速充放电特性和多个超级电容串并联特组合体特性进行研究。从充电时间、充电效率和储能量三个方面综合考虑, 利用 MATLAB 等数学工具, 对所得试验数据进行拟合并计算, 总结出了超级电容充放电的一些特性并得出了超级电容单体的最佳充电模式。

关键词: 超级电容器 充放电 特性 漏电流

Research on rapid charge and discharge characteristics of super capacitor

Xufei; Dongxuefeng; Wuhai Feng

(College of instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun130022, China)

Abstract: This article briefly introduces the principle of super capacitor and current development at home and abroad. Focus on super capacitor charging and discharging characteristics are studied and presented to the evaluation of the pros and cons of super capacitor charging methods. In the experiments, we use constant voltage charge mode and constant current charge mode for charging experiment. We also research for a single super capacitor rapid charging and discharging characteristics or more super capacitor series-parallel combination characteristics. Charging time, Charging efficiency and energy storage are both considered. We use the mathematical tools such as MATLAB to consolidate the obtained test data and sum up a series of super capacitor charging and discharging characteristics and the best charging mode.

Keywords: super capacitor charge and discharge characteristic leakage current

0 引言

随着社会的发展, 电能在生产生活等各方面的地位越来越重要, 而电能的存储设备的优劣直接影响电力设备的应用。超级电容又可以称为双电层电容器、黄金电容或者法拉电容, 具有容量大、充放电速度快、能量损失小、充电效率高、污染小、循环寿命长、功率密度大等诸多优点, 是近年来随着材料科学的突破而出现的新型功率型电子元器件。超级电容兼有普通电容和二次电池的性质。普通电容器的特点是高功率密度, 低能量密度, 而电池的特点则是高能量密度, 低功率密度。在人们寻求高能

量密度和高功率密度的储能元件的背景下, 超级电容应运而生。凭借其自身优点, 超级电容已经有了非常广阔的应用空间。超级电容在运输业、工业、通讯行业、再生能源业、军事领域均有自己的一席之地。例如, 在伊拉克战争中, 美国就应用了“微波炸弹”其上装有超级电容器发出的超强电磁脉冲深入到掩体内部进行爆炸破坏, 打击威力极其的强大^[1]。目前, 美国、日本、俄罗斯、法国等发达国家在超级电容研究上处于领先地位。在我国, 超级电容发展起步稍晚。鉴于国内研究水平整体还有待提高, 许多地方还需要开展大量的基础性研究的情况下, 本文研究并总结了以活性炭为电极材料的超级电容充放电的特性, 对其他研究工作者具有借鉴

*指导教师: 程德福

项目类型: 创新项目

意义。

1 超级电容原理

超级电容器的储能原理不同于普通蓄电池，超级电容的充放电过程受充电电流、温度等条件的限制，其中充放电电流起决定性作用。超级电容的电极材料主要有活性炭、金属氧化物及其水合物和导电聚合物。其中应用最为广泛的是活性炭。炭基超级电容器性能在很大程度上取决于电极材料活性炭。该类超级电容使用有机电解液作为介质，在活性炭和电解液之间形成双电层，如图 1 所示。

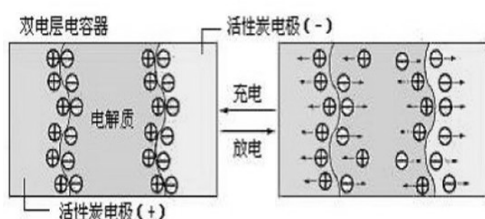


图 1 超级电容器原理

Fig.1 the principle of super capacitor

超级电容器可以被视为悬浮在电解质中的两个无反应活性的多孔电极板，在极板上加电，正极板吸引电解质中的负离子，负极板吸引正离子，实际上形成两个容性存储层，被分离开的正离子在负极板附近，负离子在正极板附近。超级电容器在分离出的电荷中存储能量，其贮能量受电极材料比表面积、多孔电极孔隙率和电解质活度等因素的影响，用于存储电荷的面积越大、分离出的电荷越密集，其电容量越大^[2]。由于超级电容器的比表面积是基于多孔炭材料，该材料的多孔结构允许其比表面积达到 $1500-3000\text{m}^2/\text{g}$ ^[3]，故这种庞大的表面积再加上非常小的电荷分离距离使得超级电容器较传统电容器而言有极大的静电容量。

3 充电制度对放电容量的影响

超级电容的内部等效结构如图 2 所示^[4]。其中超级电容的等效串联电阻 ESR(entrails series resistance)主要由电极物质内阻、溶液内阻、接触电阻等构成。电容器的 ESR 是反映其性能的一个重要指标。等效串联电阻的外在表现为：当电极充电到某一恒定电位足够长时间，电容开始放电时电极电位会有一个突降 ΔU 。这是因为：

$$U = U_0 + \Delta U \quad (1)$$

$$\Delta U = I \times Res \quad (2)$$

式中， U 是电容器的端电压， U_c 是内部等效电容两端电压， I 是充电电流， Res 是等效串联电阻。当充电电流消失时， ΔU 随之消失，端电压即会有一个电压降。对 $2.7\text{V}/400\text{F}$ 超级电容进行充电试验，结果如图 3 所示。

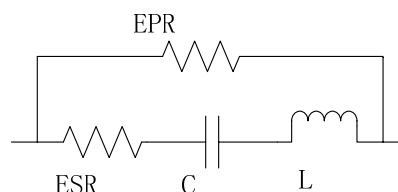


图 2 超级电容内部等效模型

Fig.2 the entrails equivalent model of super capacitor

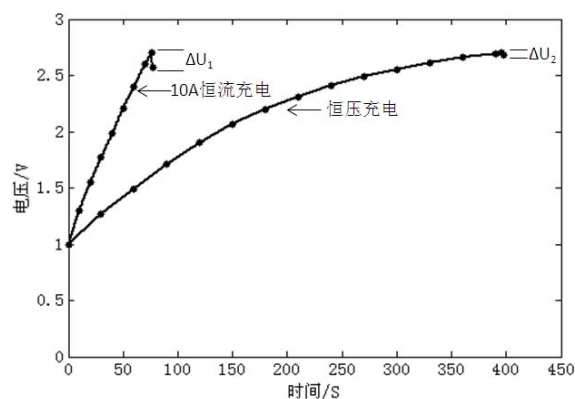


图 3 超级电容恒流恒压充电端电压变化

Fig.3 the terminal voltage change of super capacitor

图 3 中，采用 10A 恒流充电时，充电时所需时间为 77s ，充电完成后电容端电压降为 $\Delta U_1=0.13\text{V}$ ；采用 3.0V 电压充电时，充电时间为 400s ，充电完成后电容端电压降为 $\Delta U_2=0.02\text{V}$ 。对于超级电容，有：

$$E = \frac{1}{2}CU^2 \quad (3)$$

即超级电容储存的能量与其电容量和端电压有关。充电完成时，电容两端的压降越小，表明电容存储的能量越大。就充电电压降而言，恒压充电的方法可以大大减小 ΔU 。这是因为当电压接近额定电压时，充电电流很小，能够保证将电容内部的活性炭孔隙结构充分与电解液接触，从而在电容内部建立稳定的电势^[5]。对充电时间而言，恒流充电所需时间明显少于恒压充电所需时间。从充电时间和储存能量两个方面综合考虑，对单个超级电容单体而言，大电流恒流充电后切换恒压充电的充电模式效果最

好。

4 多个超级电容串并联组合体特性

超级电容串联使用、串并联使用时，将超级电容组合体视为一个整体，研究不同充电电流下该整体所表现出来的特性有何不同。由于组合体的实际应用价值更大，所以对于组合体特性，主要研究充电时间和充放电效率。

4.1 充电制度对超级电容串联组合体的影响

将三个 400F/2.7V 电容串联，分别用 5A 和 10A 电流进行恒流充电试验。利用 LM2587 芯片升压电路对电阻负载进行放电试验。试验结果如图 4。

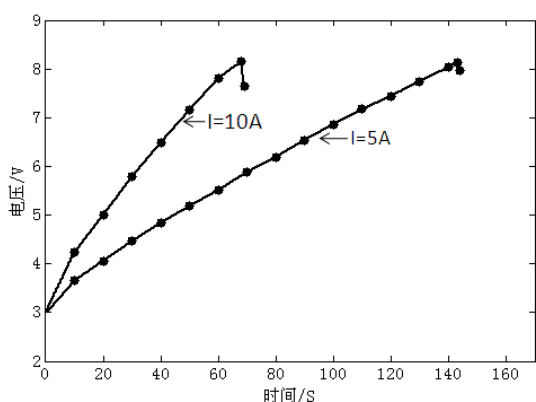


图 4 超级电容恒流充电端电压变化

Fig.4 the terminal voltage change of super capacitor by constant current charging

由图 4 中可以看出，10A 电流充电时，串联组合体充电时间与单体充电时间并无明显差异。

因为

$$Q = CU \tag{4}$$

对 n 个串联的超级电容器组，有

$$Q_n = \frac{C}{n} \times nU = CU \tag{5}$$

即将相同超级电容串联时，其存储电荷的能力不变。从理论分析和实测数据可以看出，在恒流充电情况下，超级电容串联组合体与超级电容单体在充电时间上并无差异，并且这一特性与普通电容器一致。

4.2 超级电容串并联组合体充放电效率分析

充电过程中，消耗的能量为

$$E_1 = \int_0^t U_i I_i dt \tag{6}$$

式(6)中， U_i 和 I_i 分别是超级电容的输入电压和输入电流。

放电试验中，对负载放出的能量为

$$E_2 = \int_0^t U_o I_o dt \tag{7}$$

式(7)中， U_o 和 I_o 分别是超级电容的输出电压和输出电流。

则该超级电容充放电效率为

$$\eta = \frac{E_2}{E_1} \times 100\% \tag{8}$$

利用 MATLAB 对充电电压随时间变化曲线进行拟合，并进行积分计算^[6]，经过多次试验，结果如表 1 所示。

表 1 超级电容恒流充电效率

Table1 the efficiency of super capacitor by constant current

charging		
充电电流 (A)	充电时间 (S)	效率 (%)
2	701	46.2
4	378	48.5
6	244	53.3
8	190	58.2
10	156	64.7

这表明，随着电流的增大，在一定范围内，超级电容串联组合体充放电效率会增加。

5 超级电容漏电流分析

由于内部并联电阻 EPR (entrails parallel resisrance) 的存在，超级电容在通电的情况下内部会产生一个流过 EPR 的电流，这个电流称为漏电流^[4]。由于漏电流的存在，超级电容内部并联电阻的大小决定串联的超级电容器单元上的电压分配。由于超级电容器静电容量非常大，所以在测试超级电容漏电流时，规定在测试电容器上施加工作电压 30min 后所测得的电流为该电容器的漏电流。测试实验如图所示，环境温度为 16℃左右；施加电压为电容器的工作电压；且在测试过程中电源电压波动不超过 0.01V；充电时间为 60min；由于最后漏电流测试数据受取样电阻 R_o 大小的影响，故规定取样电阻 $R_o=10\Omega$ ，由漏电流测试图(见图 5)得漏电流计算公式为：

$$I_L = \frac{U}{R_o} \tag{9}$$

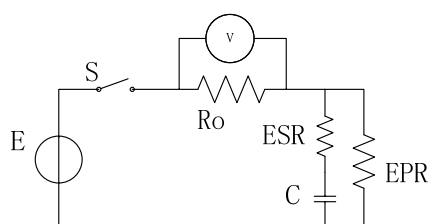


图5 超级电容漏电流测试电路

Fig.5 the leakage current test circuit of super capacitor

经过多次测试后，漏电流曲线如图6所示。可以看出，随着恒压时间的延长，漏电流逐渐减小，30min后基本趋于平稳。还可看出，随着测试次数的增加，超级电容的漏电流稳定值逐渐减小。这是因为在前几次循环过程中，充电时虽然有大量电荷积累在电极表面形成双电层，由于电解液在电极内部传递电荷的速度较慢，使得活性炭内腔中很多孔隙未得到充分利用，部分电荷只是被静电吸引在“电极/溶液”界面上，这部分电荷在放电瞬间释放，导致了比较大的漏电流^[4]。随着循环使用次数的增加，超级电容的漏电流会减小到一个较小值，这表明超级电容在长时间循环使用后，性能趋于稳定。

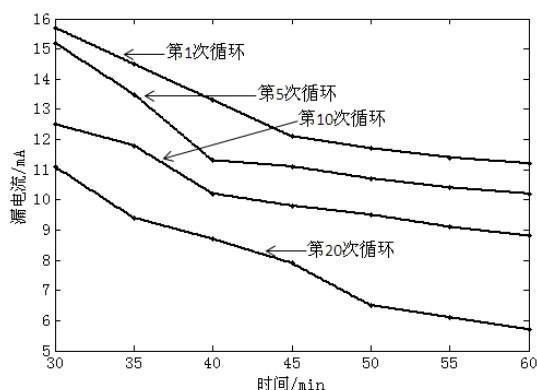


图6 超级电容漏电流测试曲线

Fig.6 the leakage current test curve of super capacitor

6 结语

对单个超级电容而言，大电流恒流充电在充电时间方面具有明显的优势。但是随着电流的增大，充电完成时电容两端的端电压降落也随之增大。为了解决这一矛盾，可以采用恒流充电到额定电压后切换到恒压充电一段时间。漏电流测试表明，超级电容性能在多次循环使用后得到改善并趋于稳定。

对多个超级电容组合体，当超级电容串联使用时，其电容量与单体电容量一致。而在充放电效率上，在一定范围内，随着充电电流增大，效率会随

之提高。评价超级电容充电制度的优劣，应从充电时间，充电效率，放电容量等三个主要方面进行考虑。

致谢

感谢指导教师程德福教授给笔者指定了研究方向并在本文写作过程中给予耐心指导和帮助。借着这次研究机会，通过进行试验和本文写作，笔者不仅在知识方面收获很多，更在实践动手能力，自主学习能力方面获益良多。

参考文献

1. 翟楠松, 张东来, 佟强. 超级电容国内外研究及应用现状[J]. 仪器仪表学报, 2007, 24 (8): 1-4
2. 李忠学, 彭启立, 陈杰. 超级电容器端电压动态特征的研究[J]. 电池, 2005, 35 (2): 85-86
3. 田艳红, 付旭涛, 吴伯荣. 超级电容器用多孔碳材料的研究进展[J]. 电源技术, 2002, 26 (6): 466-479
4. 蔡国营, 王亚军, 谢晶. 超级电容器储能特性研究[J]. 电源世界, 2009: 33-38
5. 王贤泉, 郑中华. 超级电容器充放电特性研究[J]. 船电技术, 2011, 31 (4): 54-56
6. 熊瑞, 何洪文, 张晓伟. 基于试验数据的超级电容建模方法[J]. 车辆与动力技术, 2010, 4: 25-2

基于 GPRS 的远程空气质量检测系统*

田继宇 张文君 吕婷婷 赵静

(吉林大学仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 空气质量检测系统利用传感技术, GPRS 无线通信技术和空气质量智能分析软件来实现对空气质量进行检测, 分析和报警提示. 分别对以下五种空气成分进行检测: 一氧化碳、二氧化硫、二氧化氮、臭氧和可吸入颗粒物. 利用五种传感器将对应气体浓度转化为模拟信号, 然后经过信号调理电路后接入控制器自带模数转换通道, 经控制器将信号处理后在液晶屏上显示, 同时通过 GPRS 模块将数据进行远程传输, 然后在上位机上显示测到的数据.

关键词: 气体传感器 灰尘传感器 GPRS 无线通信

Remote Air Quality Detecting System Based On GPRS

Tian Ji-yu, Zhang Wen-jun, Lv Ting-ting, Zhao Jing

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

Abstract: Air quality testing system uses sensor technology, GPRS wireless communication technology and air quality intelligence analysis software to achieve the air quality testing, analysis and alarm. There are five components of air to detect: carbon monoxide, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, ozone and particulate matter. And then we use five gas sensors to convert corresponding gas concentration to analog signals. Then after a signal conditioning circuit, making analog signals access to analog to digital conversion channels of controller. The controller will process signals and display its on the LCD screen, while making remote transmission of data by GPRS network. Then Display the measured data on the host computer.

Keywords: Gas sensor Dust Sensor GPR wireless communication

1 引言

1.1 意义

空气是指包围在地球周围的气体, 它维护着人类及生物的生存。在整个大气层中对人类及生物生存起重要作用的是距地面 12 公里以内的空气层, 也就是对流层, 其中的清洁空气是由氮 78.06%、氧 20.95%、二氧化碳 0.03% 等气体组成, 这三种气体约占空气总量 99.04%, 其它气体总和不到千分之一。空气是人类赖以生存的必要条件之一, 人体每天需要吸入 10—12 立方米的空气, 一个人在五个星期内不吃饭或 5 天内不喝水, 尚能维持生命, 但超过 5 分钟不呼吸空气, 便会死亡。空气有一定的自我净化能力, 经自然过程或人为过程等进入空气的污染物, 由空气自我净化过程从空气中清除, 从而

维持洁净空气^[1]。但是, 随着工业及交通运输业的不断发展, 大量的有害物质被排放到空气中, 超出了空气的自我净化能力范围, 从而改变了空气的成分, 使空气质量变坏, 从而使我们的健康受到相应的影响^[2]。这时我们需要一个空气质量检测系统来随时检测空气质量, 是人们能更好的了解空气污染程度, 从而做出预防措施。根据国家标准, 我们需对下面五种空气成分的含量进行检测: 一氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、臭氧与可吸入颗粒物。综上所述, 我们需要用高精度的传感器随时对空气质量进行检测, 为此, 我们进行基于 GPRS 的空气质量检测系统的设计。

1.2 国内外研究现状

现有技术中多为极少数个人家用的家庭空气检测器, 用来在装修后期对房屋空气质量进行检查评定是否可居住。还有各种气体检测器与空气颗粒检

*指导教师: 王君

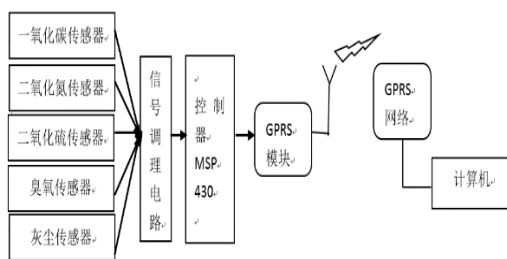
项目类型: 创新项目

测器，都是针对性较强的进行单独检测而不能表明空气总体质量。例如不同的工厂对不同的气体污染指标进行检查。但是随着近期空气污染问题的加剧尤其是雾毒等现象的出现使人们更加需要了解自己身边空气的质量^[3]。因此空气质量检测器应该普及以便人们随时了解身边空气质量的变化。

2012年10月11日，环境保护部副部长吴晓青强调，开展环境空气质量新标准第一阶段监测的74个城市，要如期开展监测并发布数据，国家和地方都要建立空气质量信息发布系统，充分利用电视、报纸、互联网、手机等媒介及时发布按新标准监测的数据，使公众能够从多种渠道方便快捷地获取环境空气质量信息。要建立区域大气环境质量预报系统，提高风险信息研判和预警能力^[4]。因此空气质量检测系统是一个必不可少的工具，利于国家检测的同时也给各地民众带来关于空气质量的可靠消息。

2 系统整体结构设计

空气质量检测系统利用传感技术，GPRS 无线通信技术和空气质量智能分析软件来实现对空气质量进行检测，分析和报警提示。分别对以下五种空气成分进行检测：一氧化碳、二氧化硫、二氧化氮、臭氧和可吸入颗粒物。利用五种传感器将对应气体浓度转化为模拟信号，然后经过信号调理电路后接入控制器自带模数转换通道，经控制器将信号处理后在液晶屏上显示，同时通过 GPRS 模块将数据进行远程传输，然后在上位机上显示测到的数据。



图(1) 系统整体结构设计

3 系统硬件结构设计

3.1 主控器的选择

根据现有实验室条件及系统功能的需求，我们拟定了三种主控器的选择方案：

(1) STC89C52 单片机，此单片机资源较少，体积较大，如作为系统的主控器还需连接 A/D 转换器。

(2) MSP430F149 单片机，此单片机资源满足系统需求，外界管脚数多，且自带 12 位 A/D 转换功能^[5]。

(3) STM32F101 单片机，此单片机资源丰富，功能复杂，应用与此系统会造成资源浪费。

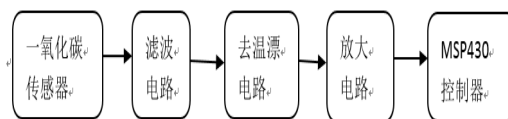
综述，选择 MSP430F149 单片机作为系统的主控器，既能满足系统的需要又不会造成资源的浪费。

3.2 传感器的选择

根据市场资源和系统的功能需要选择了如下传感器：MQ-7 一氧化碳 CO 气体检测传感器、WSP1110 二氧化氮传感器、2SH12 二氧化硫传感器、MQ-131 臭氧传感器和 DSM501 粉尘检测传感器^[6]。

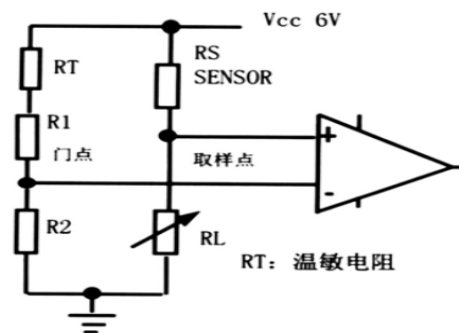
3.3 传感器网络架构模型

本部分主要包括三个环节：滤波电路、去温漂电路和信号放大电路。如下（以一氧化碳传感器为例）：



图(2) 一氧化碳信号调理电路

其中去温漂电路如下^[7]：



图(3) 去温漂电路

3.4 远程数据传输部分

为实现数据的远程传输，我选择了 GPRS 模块作为媒介，GPRS 数据传输模块有着极为广泛的应用。尽管 GPRS 是第二代移动通信技术 GSM 向第三代移动通信(3G)的过渡技术，然而他基于移动分组数据业务，具有永远在线、自由切换、传输速率较高、计费灵活便宜的优点。在 3G 牌照迟迟未发的情况下，利用 GPRS 模块进行数据传输就成为信息市场的理想选择。GPRS 数据传输模块适合很多领域的通信要求，提高了工作效率，降低了人力和物力的投入消耗，具有耗资小、体积小、分布广、使用灵活的优点^[8]。

4 系统软件设计

软件部分主要包含信号采集子程序、数据处理子程序、液晶显示子程序、数据发送子程序以及上位机数据的接收和整理。其中信号采集是通过 MSP430F149 单片机自带 A/D 进行，通过对控制寄存器 ADC12CTL0、ADC12IE、ADC12IFG 和 ADC12CTL1 进行设置后，定时采集数据存储器 ADC12MEM0~ADC12MEM4 中的数据，然后通过算式 $N_{ADC} = (4095 * (V_{In} - V_{(R-)})) / ((V_{(R+)} - V_{(R-)}))$ 可算出采集到的电压值 V_{In} 。数据处理是根据传感器输出电压值与所测气体浓度的响应特性曲线来进行数据的处理，以二氧化硫和灰尘传感器的特性曲线为例；

二氧化硫传感器响应曲线如下：

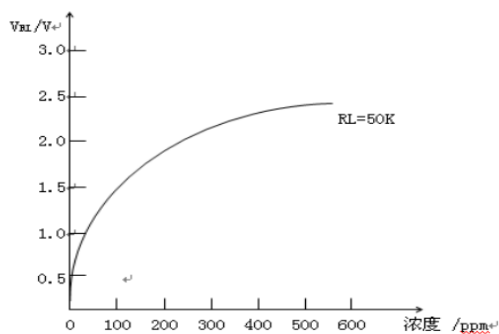


图 (4) 二氧化硫传感器响应曲线

在信号采集部分采集到的电压值 V_{In} 可通过此响应曲线得出此时检测点的二氧化硫浓度。

灰尘传感器的输出波形与特性曲线如下^[9]：

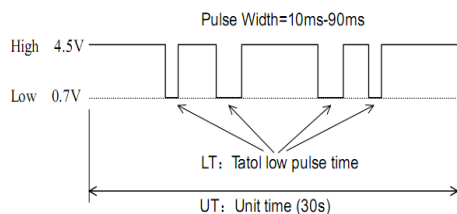


图 (5) 灰尘传感器的输出波形 PWM

低脉冲率：RT=LT/UT*100%；

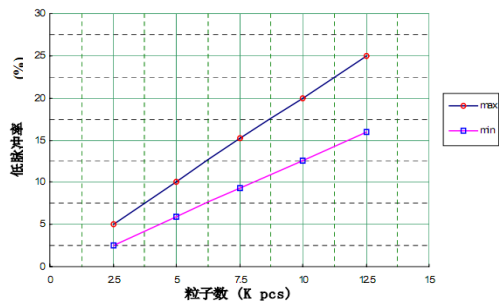


图 (6) 灰尘传感器特性曲线

由灰尘传感器输出波形 PWM 和特性曲线可以算出可吸入粒子数。

数据的发送是通过 GPRS 模块进行实现，运用

AT 指令可实现数据的发送，流程图如下^[10]：

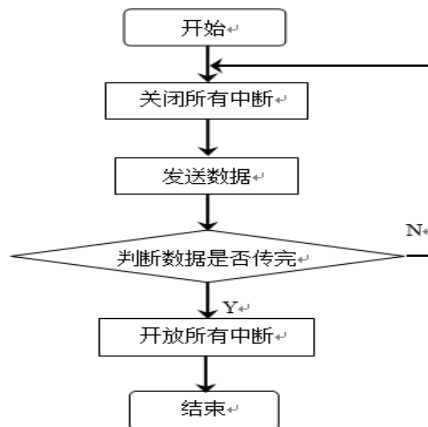


图 (7) 数据发送流程图

5 结语

笔者设计的远程空气质量检测仪能较全面地对空气的质量进行检测和显示，通用性强，适合大多数环境对空气质量的要求，同时此检测仪器本身体积小、重量轻、便于随处移动检测，而且操作方便、易于维修，在很大程度上能满足人们的需要。从而对人们的身体健康起到重要的作用。

参考文献

1. 刘伟, 韩毓. 灰霾天气城市空气污染程度判据指标体系建立的探讨. 天津市环境监测中心. 中国环境监测第 25 卷第 3 期 2009 年 6 月.
2. 周志波. 浅谈空气污染指数及改善空气质量的途径. 烟台市牟平区环境保护监测站. 烟台. 264100
3. 吕建, 李定凯. 可吸入颗粒物研究现状及发展综述. 清华大学热能动力工程和热科学重点实验室. 北京. 100084
4. 陈超嫦, 区藏器, 黄佐华. 国内大气悬浮颗粒物检测分析方法. 机电工程技术. 2007 年第 36 卷第 03 期
5. 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002.
6. 程德福, 王君, 凌振宝. 传感器原理及应用. 北京: 机械工业出版社, 2008.

7. 康华光. 电子技术基础（模拟部分）. 北京：高等教育出版社，2005.
8. 吕鑫, 王忠 GPRS 数据传输模块的设计与实现(四川大学 电气信息学院 四川 成都 610065)
9. 龚睿昆. 灰尘传感器的研制及应用. 研究动态
10. 李长林. Visual Basic 串口通信技术与典型实例[M]. 北京：清华大学出版社，2006：56- 78.

核磁共振探测范围内任意位置激发场 测量装置设计*

孙惠, 胡晓杰, 刘磊

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130061)

摘要: 在核磁共振探测范围内, 根据已研究的利用线圈在地下坑道中进行突水探测的激发场计算和模拟方法, 已知地磁场倾角和线圈朝向对激发场的影响, 为了验证空间中核磁共振激发产生的正弦电磁场是否与计算和仿真结果相吻合, 本文设计一个能够精确测量不同距离处、线圈不同朝向对激发场的影响的测量装置。激发场为 1k~3kHz 的正弦信号。线圈接收信号后, 进行前置放大处理, 采用 AD574 进行信号采集转换, 主控制器采用 AT89C51 对信号进行处理并在 LCD 上显示。经测试, 该装置所测得电磁感应强度的变化趋势与计算和仿真相吻合。

关键词: 核磁共振; 激发场; 电磁感应强度

Nuclear magnetic resonance for any position within the excitation field measuring device design

SUN Hui, HU Xiao-jie, LIU Lei

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: In nuclear magnetic resonance (NMR) detection range, according to a study in has the use of coil in the underground tunnels for water inrush detection of excitation field calculation and simulation method, know the geomagnetic field Angle and coil toward the impact on excitation field, in order to verify whether the nuclear magnetic resonance (NMR) stimulate the sinusoidal electromagnetic field in the space in conformity with the calculation and simulation results, the paper design a able to accurately measure different distance, coil toward the impact on excitation field measurement device. Excitation field characteristics for 1 k ~ 3 kHz sine signal. Coil after receiving signals, preamplifier and adopt AD574 to convert the signal collection, main controller AT89C51 for signal processing and displayed on the LCD. After the test, the device is measured by the electromagnetic induction intensity change trend in conformity with the calculation and simulation.

Keywords: magnetic resonance imaging; excitation field; electromagnetic induction

0 引言

我国煤矿生产中的重特大事故仍然十分严重, 突水列瓦斯爆炸之后排第二位。近年来, 我国煤矿、隧道发生突水事故频繁, 不但导致了大量的人员伤亡, 同时也造成了很大的经济损失, 因此找出一种超前预测煤矿、隧道突水的方法显得尤为重要。目前用于坑道突水超前预测的方法也大都属于间接测量^[1-3], 用核磁共振方法形成的一种直接非侵害性的探

测煤矿、隧道突水的地球物理新技术, 与传统的方法相比具有高分辨力、高效率、信息量丰富和解的唯一性等优点, 是一种很有发展前景的地下找水技术。

核磁共振探测范围内任意位置激发场测量装置, 是一个验证性的实验装置。已经研究了利用线圈在地下坑道中进行突水探测的激发场计算和模拟方法以及地磁场倾角和线圈朝向对激发场的影响^[4],

*指导教师: 王应吉

项目类型: 创新项目

现设计测量装置以验证是否和理论相吻合。设计制作接收线圈并经过简单的 LC 滤波, 然后通过前置放大电路将信号初步放大, 再用双二次带通滤波器进行滤波以排除其他信号的干扰, 之后用一个主放大电路进行再次的放大, 方便下一步的 AD 转换, 最终通过 LCD 显示出磁场强度的大小。该装置能够检测 1k~3kHz 的低频较弱的信号, 检测精度高, 灵敏度高, 并且比较小巧方便携带。

1 设计原理与方法

1.1 设计原理

按照位移电流的概念, 任何随时间而变化的电场, 都要在邻近空间激发磁场。按照感应电场的概念, 任何随时间而变化的磁场, 都会在邻近空间激发感应电场。麦克斯韦方程组表明变化的电场和磁场相互激发、相互联系形成统一的电磁场^[5]。麦克斯韦方程组的积分形式如下:

$$\oint_l H \, dl = \int_s (J + \frac{\partial D}{\partial t}) \, dS \quad (1)$$

$$\oint_l E \, dl = - \int_s \frac{\partial B}{\partial t} \, dS \quad (2)$$

$$\oint_s B \, dS = 0 \quad (3)$$

$$\oint_s D \, dS = q \quad (4)$$

将测得的电压值转换为磁感应强度, 转换公式为^[5]:

$$E = NBS\omega \quad (5)$$

E: 电磁感应电动势, 单位: V

N: 线圈匝数, 单位: 匝

B: 磁感应强度, 单位: T

S: 线圈面积, 单位: m²

ω : 信号角频率, 单位: rad/s

1.2 设计方法

设计制作接收线圈, 并且在线圈上进行 LC 滤波, 前置放大电路采用 OP37 构成的仪用放大器进行 210 倍放大, 再通过双二次带通滤波对信号进行滤波, 消除其他信号干扰, 再使用 $\mu A741$ 对信号进行 500 倍放大, 使得信号满足 AD 转换的范围, 模数转换采用 AD574 芯片, 将转换结果送至 AT89C51 单片机进行处理, 最终在液晶 LCD 上显示。硬件设计如图 1 所示:

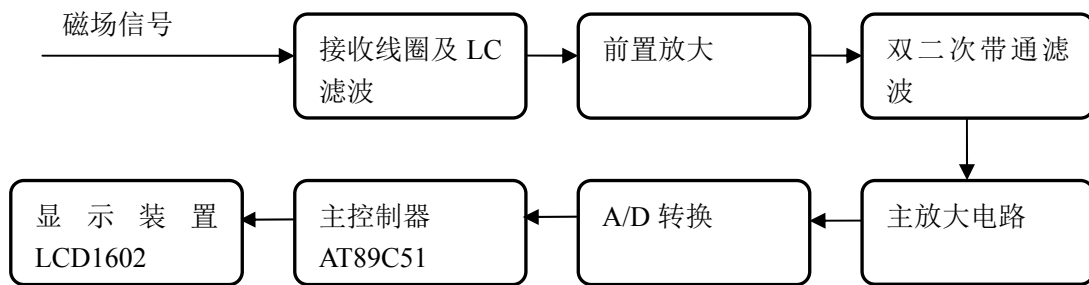


图 1 硬件设计

Fig.1 The hardware design

2 系统硬件设计

2.1 接收线圈设计

接收线圈采用漆包线, 线圈缠绕具体参数计算公式如下所示:

$$l = \frac{0.01 \cdot D \cdot N^2}{\frac{L}{D} + 0.44} \quad (6)$$

l: 线圈电感量, 单位: 微亨

D: 线圈直径, 单位: cm

L: 线圈长度, 单位: cm

N: 线圈匝数, 单位: 匝

根据欧姆定律, 为了权衡电流与电阻的大小, 且取材方便, 便于线圈缠绕, 采用的漆包线直径为 0.27mm。由于希望能够尽量测量较远距离的磁感应强度, 且测量线圈不宜过大, 故选取直径 10cm。根据经验, 线圈长度为线圈直径 0.7 倍时, 可改善 Q 值, 经密集缠绕 85 匝时, 达到希望值。

经过测量, 得到线圈电感为 836.5 mH。线圈

品质因数 $Q = \omega \frac{L}{R}$, 线圈 Q 值为 1.9112。理论上 Q 越大, 则认为感应线圈选择性越好, 一般传统方法缠绕线圈 Q 小于 10。线圈输出的感应电压信号, 由于待测磁场比较微弱, 感应线圈输出的电压信号是叠加有噪声的信号, 为从噪声中提取有用信号, 采

用 RLC 串联谐振电路对输入信号进行滤波, R1 为接收线圈等效电阻, L1 为等效电感, C1 为等效电容。线圈和滤波电路连接方式如图 2 所示:

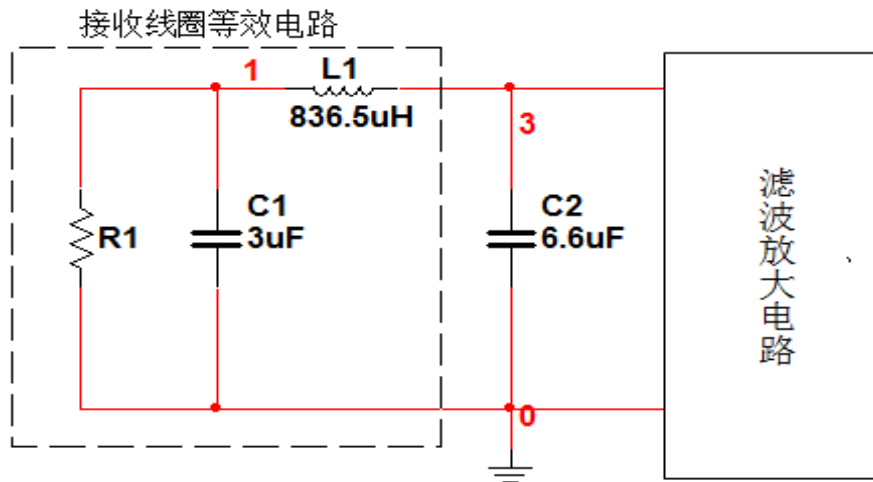


图 2 接收线圈与补偿电容连接

Fig.2 receiving coil and compensation capacitor connection diag

由于谐振频率为 2kHz, 由 LC 谐振回路谐振频率公式:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (7)$$

得到谐振电容为 9.2 mF。

2.2 前置放大电路设计

由于接收到的是微小信号, 而电路存在一定的等效输入噪声, 为了不使小信号被电路噪声所淹没, 必须在该电路前面加一级放大器, 如图 3 所示。由于 OP37 是高性能、低噪声的单运算放大器, 还具有优

良的输出驱动能力以及较高的小信号带宽, 输入失调电压 10nV, 并且电源电压范围大, 价格低廉, 故选用 OP37。增益公式为:

$$A_v = -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right),$$

选取电阻 R1=R3=1K, R2=R4=10K, 由于所设计电路图中 R7=R3, R5=R4, R6=R2, 放大倍数为 210 倍。

在已知测量条件下, 发射线圈电流为 0.5A 时, 此放大倍数可以保证放大中近距离内的感应电动势, 而不会使得送入 AD574A 的电压超出量程。

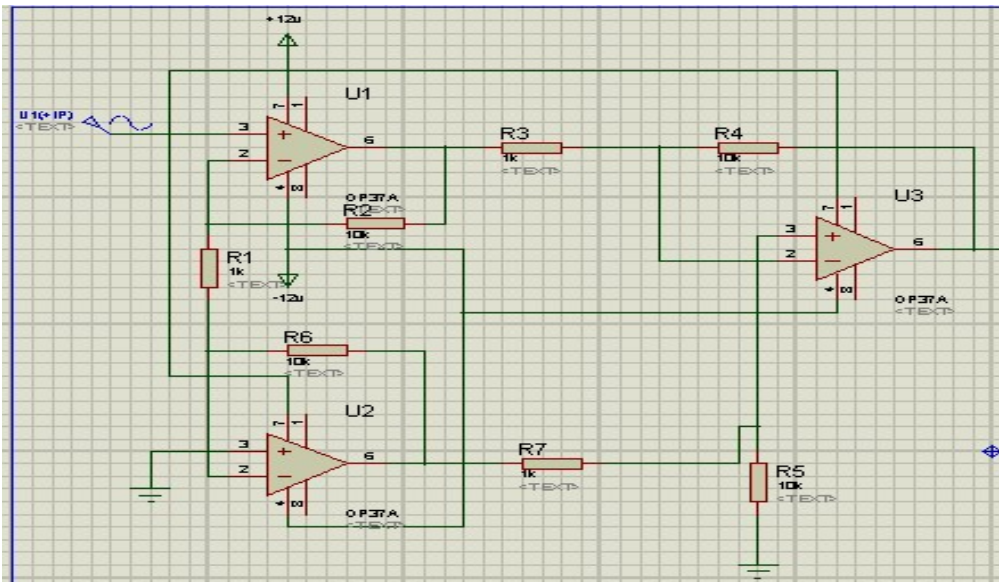


图 3 前置放大电路

Fig.3 Preamplifier circuit

2.3 滤波电路设计

由于信号为单一频率, 故采用带通滤波器, 而二阶滤波能更好的把噪声有效滤除, 故采用双二次带通滤波器, 且该电路元器件易调整, 中心频率 2kHz, 为了保证信号的纯度, 没有其他噪声干扰,

选取带宽 10Hz。根据

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_3 R_4}}, Q = \frac{R_2}{\sqrt{R_3 R_4}}, A_{vp} = \frac{R_2}{R_1}$$

以及设计要求选取 R1 为 16K, R2 为 160K, R3

为 8K，R4 为 8K 的电阻。设计电路中 R3=R4=R5=R7=8K。由于 LM324 四运放电路具有电源电压范围宽，静态功耗小，可单电源使用，价格低

廉等优点，因此选择 LM324 使用在电路中。电路如图 4 所示：

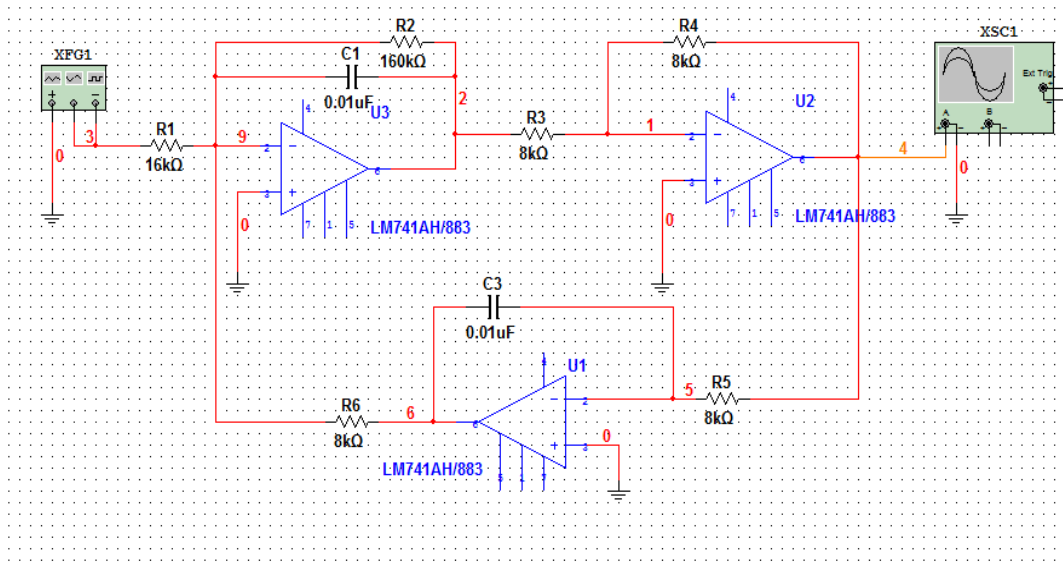


图 4 双二次带通滤波器

Fig.4 The Design of Biquadratic Filters

2.4 放大电路设计

由于不用考虑共模输入信号，故选用反向比例放大电路，为了保证信号能在 AD 的量程之内，先初

步放大 100 倍，再放大 5 倍，两级串联，共放大 500 倍，再经过电压跟随器输出。运放芯片采用 UA741，电路如图 5 所示：

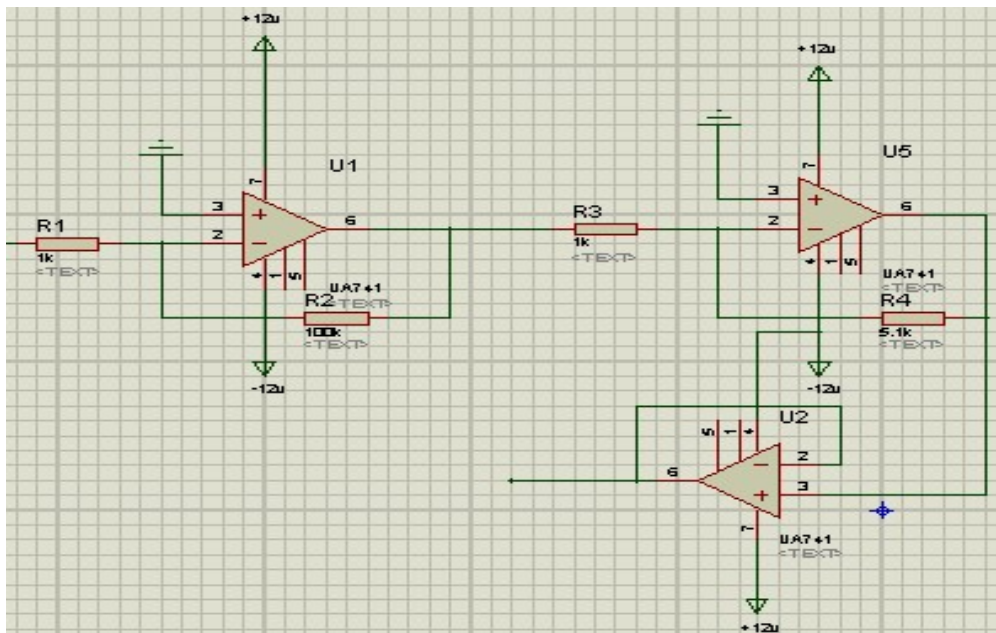


图 5 放大电路

Fig.5 Amplifying circuit

2.5 模数转换及显示电路设计

AD574A 是单片高速 12 位逐次比较型 A/D 转换器，内置双极性电路构成的混合集成转换芯片以及采样保持器，具有外接元件少，功耗低，精度高等特点，并且具有自动校零和自动极性转换功能，只

需外接少量的阻容件即可构成一个完整的 A/D 转换器。在 12 位模式下，转换速率为 25us。

主控制器采用 AT89C51，显示采用 LCD1602。电路如图 6 所示：

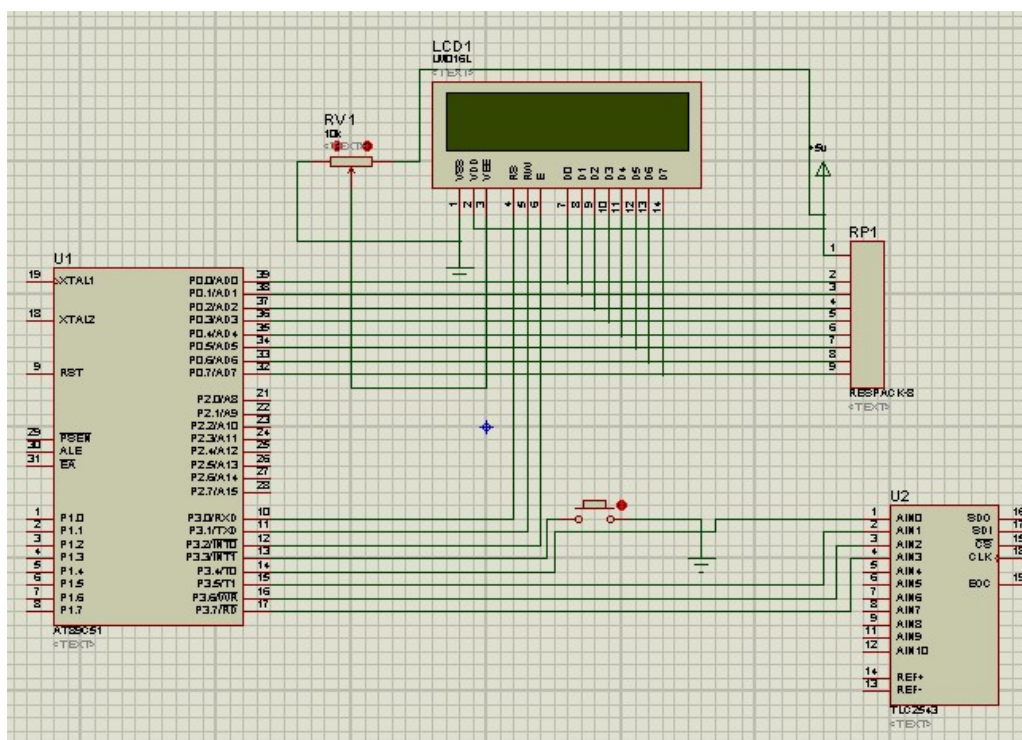


图 6 信号采集与显示电路

Fig.6 The circuit of Signal acquisition and display

差值即为测量信号峰峰值。

3 系统软件设计

软件设计流程，如图 7 所示：

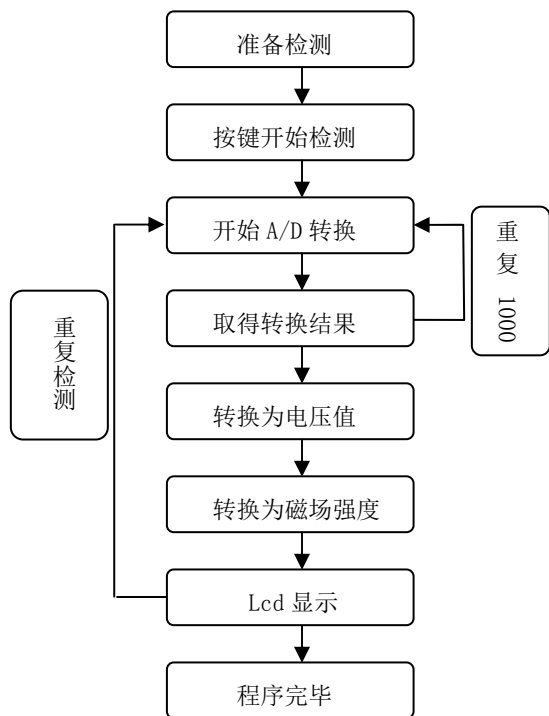


图 7 软件设计流程

Fig.7 The software designs process

开始 A/D 转换后，经过 1000 次检测，取得 1000 组数据，从中取得最大值 V_{max} 以及最小值 V_{min} ，

4 测试结果

发射线圈产生的激发磁场 B_T 在与地磁场 B_0 垂直平面上的投影分量 B_T^{\wedge} 对核磁共振激发才是有效的^[4,6]。从而 B_T 与地磁场 B_0 建立了关系，由于探测线圈朝向不同会导致 B_T 在与地磁场 B_0 垂直方向上分量 B_T^{\wedge} 投影位置不同，所以 B_T^{\wedge} 大小和方向除了受到发射线圈尺寸、匝数、电流和一定地电条件影响外，还会随地磁倾角和线圈朝向发生变化。在此，我们只研究了接收线圈位于不同距离上的电磁场强度的变化。

当发射线圈直径为 1m、电流为 0.5A 时，分别测量了离线圈不同距离处的平面上的最大电压值，再以此位置为基准，分别测量其往上和左不同位置处的电压值，测量数据如表一所示。

表 1 测量数据

Table1 Measurement data

距线圈中心点的距离 (z)	测量位置 (x, y)	读数 (V _{p-p})
1.2m	中心最大值 (0, 0)	12.8
	左偏 30cm (30, 0)	12.2
	左偏 50cm (50, 0)	10.6
	上偏 30cm (0, 30)	11.6
	上偏 50cm (0, 50)	10.0
	上偏 70cm (0, 70)	8.40
1.8m	中心最大值 (0, 0)	7.20
	左偏 30cm (30, 0)	7.00
	左偏 50cm (50, 0)	6.40
	上偏 30cm ((0, 30)	6.80
	上偏 50cm (0, 50)	6.40
	上偏 70cm (0, 70)	6.00
2.4m	中心最大值 (0, 0)	3.92
	左偏 30cm (30, 0)	3.88
	左偏 50cm (50, 0)	3.40
	上偏 30cm (0, 30)	3.90
	上偏 50cm (0, 50)	3.44
	上偏 70cm (0, 70)	2.88
3.0m	中心最大值 (0, 0)	1.90
	左偏 30cm (30, 0)	1.88
	左偏 50cm (50, 0)	1.54
	上偏 30cm (0, 30)	1.86
	上偏 50cm (0, 50)	1.52
	上偏 70cm (0, 70)	1.44
3.6m	中心最大值 (0, 0)	0.792
	左偏 30cm (30, 0)	0.786
	左偏 50cm (50, 0)	0.712
	上偏 30cm (0, 30)	0.736
	上偏 50cm (0, 50)	0.664
	上偏 70cm (0, 70)	0.600
	上偏 90cm (0, 90)	0.512

根据测量结果，可以分析出，在发射线圈不同距离的中心位置上（即 xy 平面中心位置），电磁场强度最强，离中心位置越远，电磁场强度越弱，绘制成的电磁感应强度分布图如下图所示：

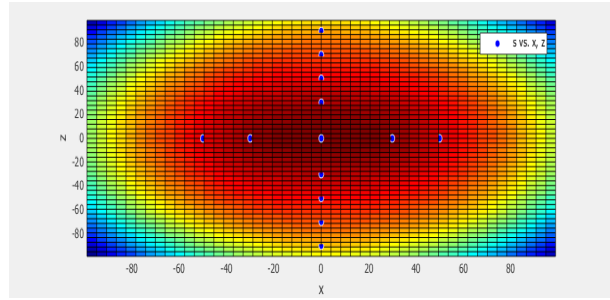


图 8 xy 平面磁场分布情况

Fig.8 The magnetic field distribution in the XY plane

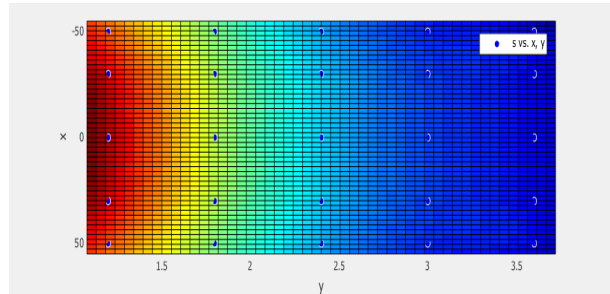


图 9 xz 平面磁场分布情况

Fig.9 The magnetic field distribution in the XZ plane

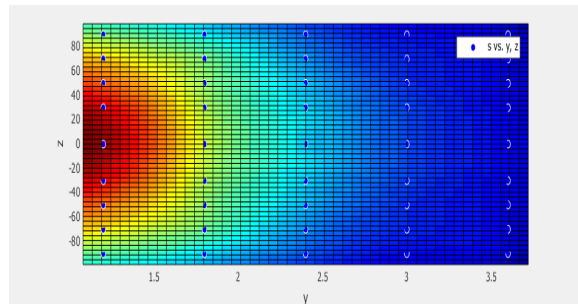


图 10 yz 平面磁场分布情况

Fig.10 The magnetic field distribution in the YZ plane

5 结论

核磁共振探测范围内任意位置激发场测量装置可以稳定的测量范围为距离发射线圈 4 倍直径之内。根据测量数据进行的仿真结果来看，在发射线圈不同距离上的电磁感应强度随距离的变化趋势和计算与仿真结果相吻合。另外，我们测量了在发射线圈中心线上 4.2m 处的电压峰峰值为 430mv，最远可以测量到 4.8m，由于干扰较大，测得电压峰峰值约为 190mv 左右。由此可见，该装置还有更大的改进空间，为提高测量精度提出了更大的挑战。

参考文献

1. 张立新, 李长洪, 赵宇. 矿井突水预测研究现

- 状及发展趋势[J]. 中国矿业, 2009, 18 (1): 88-108.
2. 何继善, 柳建新. 隧道超前探测方法技术与应用研究[J]. 工程地球物理学报, 2004, 1 (4): 293-298.
 3. 曾昭璜. 隧道地震发射法超前预报[J]. 地球物理学报, 1994, 37 (2): 218-230.
 4. 王应吉, 赵越, 林君. 核磁共振坑道水探测中的激发场研究[J]. 地球物理学进展, 2013, 28 (1): 468.
 5. 冯慈璋, 马西奎. 工程电磁场导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
 6. 孙怀凤, 李术才, 李貅等. 核磁共振测深进行隧道超前地质预报的可行性[J]. 山东大学学报(工学版), 2013, 43(1):92-103.

提高夜间行车安全的全角度车灯控制系统*

贾文嘉 孙玉洪 蒋蓉

(吉林大学仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 本文介绍了一种基于 MSP430F149 芯片的汽车前大灯的智能转向系统的设计与制作。该系统包括两个自由度的车灯转向设计, 即水平转向和俯仰角度调整。设计采用一个 WDD35D4 型导电塑料角位移传感器作为车辆行驶方向信号的输入端, 设计两个按键分别代表汽车的油门踏板和刹车踏板, 作为车辆速度的输入端, 输入的数据经 430 芯片处理后, 经由 3128A 高细分步进电机驱动器分别驱动垂直方向及水平方向的步进电机转动相应角度。以此来调整车灯的照射角度, 进而实现消除照明死角, 提高行车安全的目的。本系统使用 LABVIEW 软件对输入的角度值和速度值进行实时显示。

关键词: 车灯控制 步进电机 LABVIEW 角位移传感器

The whole point of headlights control system that can improve the driving safety at night

Wenjia jia Yuhong sun Rong jiang

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

Abstract : This paper introduces the design and manufacture of the car headlights intelligent steering system based on MSP430F149. The system has two parts, including level steering and pitch angle adjustment. The system uses WDD35D4 angle sensor as the direction signal of input. It has two buttons, one on behalf of the accelerator, another on behalf of the brake, what control the speed of input. After the input data has been processed by MSP430, 3128A motor drive makes two stepper motors rotate angle accordingly in the vertical direction and horizontal direction. So it can eliminate lighting corner by adjusting the irradiation angle of light, makes driving at night safer. The angle value and speed in the operation will be displayed in real-time by LabVIEW.

Keyword : headlight control stepper motor LabVIEW angle sensor

0 前言

作为汽车上重要的安全部件, 目前大部分汽车的前照灯的照射角度是固定的。由于传统的照明方式和车辆行驶方向保持一致, 所以在转弯时光线仍然照向正前方, 这样弯道内侧就不可避免的成为了照明的死角。光线可能会投射到迎面驶来的车辆上, 既不能照亮前方, 又对其他驾驶员造成眩目, 使得夜间行车存在极大的安全隐患。

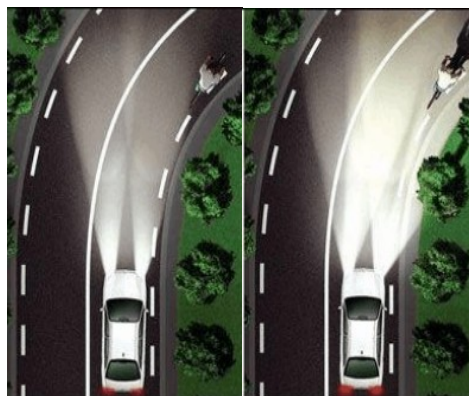


图 1 在弯道处安装车灯智能转向系统的前后对比
另外当车辆行驶至高速公路或是比较空旷的地

*指导教师: 随阳轶

项目类型: 创新项目

带时，司机会将车速提高，因此刹车距离会增长，所以司机需要对更远地方的路况进行预判以确保行车安全。

因此，需要设计一个智能控制汽车前灯系统，用来调整车灯的照射方向。

1 总体方案设计

该项目由两个主要部分组成，即通过测量车辆的转向角度来控制车灯的水平角度和通过测量车辆的行驶速度来控制车灯的俯仰角度。程序的系统框图如下：

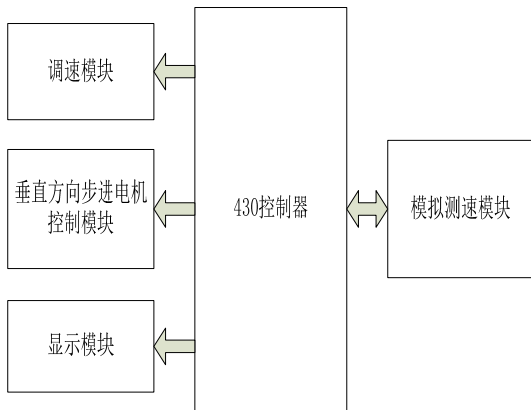


图 2 俯仰角度的电机控制系统图

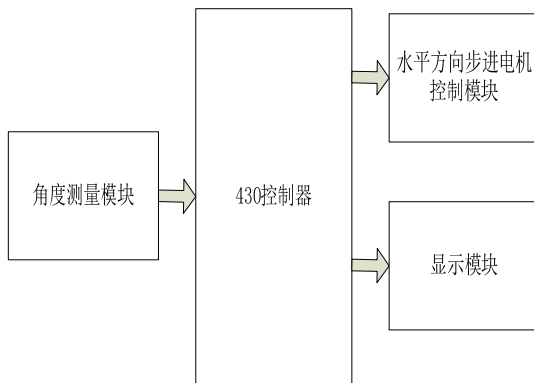


图 3 水平角度的电机控制系统图

俯仰角度的电机控制系统包括模拟测速模块、调速模块、垂直方向步进电机控制模块、显示模块；水平角度的电机控制系统包括水平方向步进电机控制模块、显示模块、角度测量模块。

2 硬件电路设计

2.1 直流电机测速模块

直流电机测速模块的结构框图如图 4：

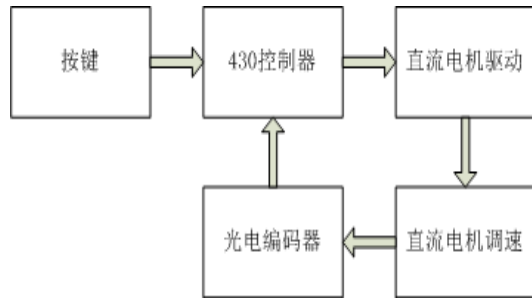


图 4 直流电机测速模块

两个按钮分别代表汽车的油门踏板和刹车踏板，作为车辆速度的输入值。采用 MSP430 芯片自带的计时器计算出车速是在增加还是在减小。然后通过控制直流电机驱动信号的频率来控制直流电机的转速。

用光电编码器测出直流电机的转速，作为速度信号的输入端，将速度值送到 430 控制器。

2.2 步进电机控制模块

步进电机驱动模块包括 MSP430F149 芯片，3128A 高细分步进电机驱动器，42 式步进电机。本驱动器最高可达 128 细分，即 $(1.8^\circ / 128)$ 度，完全可以满足本设计要求的精度。

表 1 细分模式选择表

M1	M2	M3	细分
0	0	0	1
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

如图 4，控制机即为 MSP430 芯片，脉冲信号的输入段接 2 口，方向信号输入接 3 口。公共段接在芯片上引出的 3.3V 电源上，DC+ 和 DC- 可接入 10~36V 的直流电。

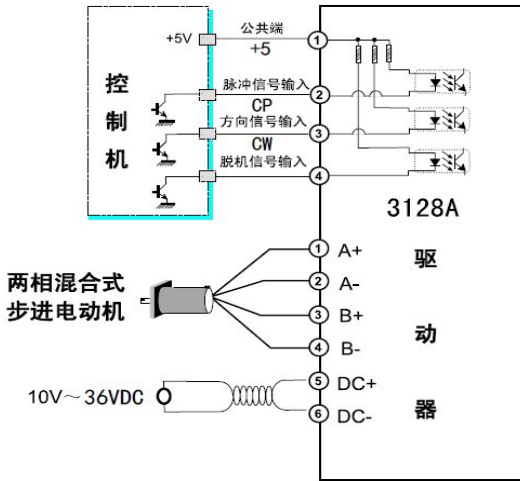


图 5 3128A 高细分步进电机驱动器硬件连接图

3 软件电路设计

3.1 显示模块

显示模块包括串口通信及 LABVIEW 显示模块。采用 MAX232 电平转换芯片实现 430 控制器与上位机之间的串口通信，并将由传感器采的方向信号和速度信号处理后打包通过串口通信发送给 PC 机，并在 PC 机上的 LABVIEW 软件上显示出来。

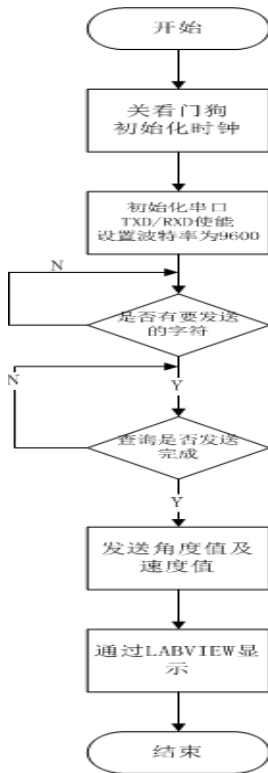


图 6 显示模块程序流程图

3.2 角度传感器模块

由于车辆的转向的方向和角度都由方向盘控制，所以使用一个角位移传感器来代替方向值的输

入，经 MSP430 内置的 ADC12 处理成数字信号后，将得到方向盘的转向角度。

由于只需采集一个通道的信号即来自角位移传感器的信号，所以可以选择单通道序列转换模式。

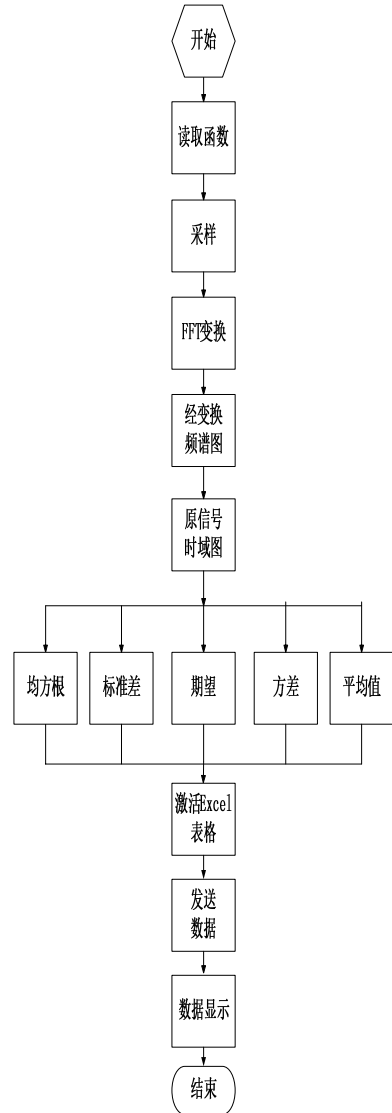


图 7 角度传感器模块流程图

4 系统结果测试与分析

设定方向盘的转角为 360 度，即可以向左或向右各转 180 度。实际的汽车内侧转向轮的最大转角一般在 $(35\sim 40)^\circ$ 左右，在这里设车灯的转向角度为 40° ，即向左或向右最大可各转 40° 。车灯的转向度数应与方向盘的转角成正比关系。

车速应与刹车油门键按下的时间成正比，设定车灯的上摆幅度为 20° ，车灯的摆动幅度应与实时的速度值成正比。

车模固定在一点上，在距其 25.5cm 处垂直放置一张坐标纸，当车灯摆动或是俯仰时，可以通过查找激光笔光点变化的位置来判断其摆动角度，从而

测试其性能。测试结果如下：

表 2 测试结果

	灯与坐标纸的距离 (cm)	预计转过角度 (°)	预计光斑偏移距离 (cm)	实际光斑偏移距离 (cm)	实际转过角度 (°)
1	25.5	0	0	0	0
2	25.5	9	4.04	4.15	9.24
3	25.5	18	8.29	8.50	18.43
4	25.5	27	12.99	13.25	27.46

5 结论

通过测试可知，该全角度车灯控制系统的测试精度达到了预期标准，能够满足实际工作需要；同时，通过系统的显示模块可以直观的看到车辆的运行情况。因此，该系统可以实现减少照明死角，提高行车安全的目的。

参考文献

1. 李婷. 智能化的汽车照明技术 [J]. 汽车电子, 2011 年 31 期
2. 王维. 汽车前大灯随动转向控制及动态特性仿真研究[D]. 武汉理工大学, 2012 年
3. 刘新良, 迟永滨. 汽车 AFS 头灯随动转向规律研究[A]. 机械设计与制造第 8 期, 2011 年 8 月
4. 乔海晔. 基于自适应控制的车灯转动系统的设计[A]. 计算机技术与发展第 22 卷 第 7 期, 2012 年 7 月
5. 魏宇明, 吴旋, 欧亚非. 汽车智能随动转向照明系统的定位与分析[J]. 科技视野. 2008 年
6. 吴迪. 汽车车灯主动安全性研究[J]. 科技专论. 2011 年
7. Y. H. Xu; M. Ahmadian. Study on the performance of active front steering system.

International Journal of Automotive Technology
2013.8

8. H Hogrefe. Adaptive Frontlighting Systems for Optimum Illumination of Curved Roads, Highway Lanes and Other Driving Situations. S.A.E. transactions .2000.6

家庭安全用电控制系统的研究*

刘鸿文； 张林路； 李昕； 刘长英

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130021,)

摘要：安全用电控制系统是一种安装在家庭用电线路上，用来检测家庭用电的安全性，自动切断问题电器并可以远程控制装置。在家庭安全用电系统中，利用电流传感器监测家庭用电总电路中的电流，当电路中因短路或者过载等原因造成电路中电流过大时，系统将自动切断发生故障的支路，保持其余用电器正常工作，也保护了家庭用电线路的安全；同时将大概故障点通过 GSM 无线模块发送至用户手机终端，使人们能及时的维修，进一步消除安全隐患。手机终端的人们可以远程遥控家用电器，已达到节约用电的目的，同时极大地方便了人们的生活。

关键词：安全用电 远程控制 GSM 无线通信

study on The safe use of electricity control system for household

liuhongwen; zhanglinlu; lixin; liuchangying

(College of instrumentation & electrical engineering, jilin university, Changchun 130022, China)

Abstract: The safe use of electricity control system is installed on a home power lines, used to detect security of household electricity and automatically cut off electrical devices with problems and can be remotely controlled. In the household electricity security system, at first to use the current sensor to monitor the total household electricity current in the circuit, when due to a short circuit or overload the circuit causes the circuit current is too large .the system will automatically cut off the problematic branch to maintain the remaining working properly with appliances, but also to protect the safety of household electricity lines; At the same time send the probable point of failure to the user's mobile phone terminals via GSM wireless module, so that people can timely maintain, further eliminate safety hazards. People can remote control home appliances via mobile terminals which greatly facilitates people's lives.

Key words: electricity Remote control GSM Household electricity

0 前言

随着人们生活水平的不断提高，用电设备也不断增加，对家庭用电线路安全也提出了越来越严峻的考验。电气线路的常见故障有：绝缘损坏、接触不良、过负荷、断线、间距不足、保护导体带电等，这些故障都有可能导致停电、触电、火灾等多种事故。例如线路绝缘损坏后依据损坏程度的不同，可能出现短路、漏电这两种危害。绝缘完全损坏将导致短路。短路时，流过线路的电流增大为正常工作电流的数倍到数 10 倍，而导线的发热量又与电流的平方成正比，导致发热量急剧增加，短时间就可能起火燃烧；发生

弧光放电，高温电弧可能灼伤附近的人员，也可能直接引起火灾；此外，在短路状态下，一些裸露导体将带有危险的故障电压，可能给人以致命的电击。如果绝缘未完全损坏，将导致漏电，而漏电是电击事故最常见的原因。漏电处局部发热，局部温度过高可能直接导致火灾，也可能使绝缘进一步损坏，形成短路，引起火灾。如果导体接地，由接地电流产生的热量和电弧，在接地处有可能导致起火燃烧。接触不良造成连接处接触电阻增大，在电流的作用下产生热量，可以使金属变色甚至熔化，很容易成为火源，引发电气线路的绝缘层、附近的可燃物及积沉的可燃粉尘的燃烧。过负荷时，由于电线的发热量与电流的平方成正比，发热量往往超过允许限度，轻则加速绝缘老化，

*指导教师：刘长英

项目类型：创新项目

重则会使绝缘层燃烧而引起火灾事故。过载还会增大线路上的电压损失。断线可能造成接地、混线及短路等多种事故，导线断落在地面或接地导体上，可能导致电击事故；导线断开或拉脱时产生的电火花，均可引燃邻近的可燃物。

随着 GSM 移动通信网络的迅速普及和竞争的日益激烈，新技术和新业务的开发和应用已提到十分重要的位置。GSM 模块作为一种主要的 GSM 网络接入设备已得到越来越多的系统制造商和系统开发商重视，基于它的各种应用也蓬勃发展起来。GSM 模块是继 GSM 手机外又一种非常重要的 GS 移动通信系统的终端设备。以 GSM 网络作为无线传输网络，可以开发出多种前景极其乐观的各类应用，如：GPS/GSM(SMS) 移动车辆监控定位系统；移动 POS 机，移动收费系统；移动性数据和 Internet 接入。

对于家庭用电线路故障检测和保护已有不少研究，市面上的电器短路、过载、超压的保护器，容易损坏，没有提示功能，不够人性化。为此设计更加人性化，智能化，并增加 GSM 远程控制的家庭用电安全控制系统。

1 系统整体设计

家庭安全用电系统可分为两部分，系统设计框图如图 1 所示

- 1) 安全用电：电流传感器检测线路中电流，将检测到信号送入控制器中和安全值对比，监测电流过大则立即切断问题支路，保证其余支路用电器工作正常；并通过发射接收器向用户手机终端发送问题信息，以便于及时检修
- 2) 远程控制：手机用户终端可以通过发射接收器向控制器发出命令，可以打开或关闭特定的用电器，以节约用电和方便人们的生活。

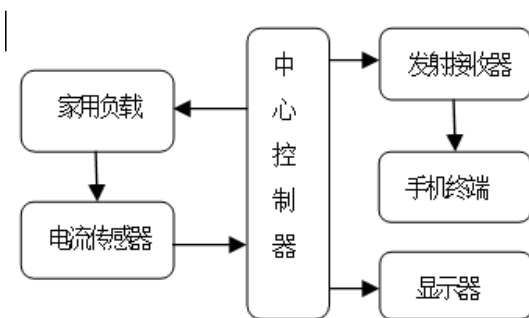


图 1 系统设计框图

2 系统硬件设计

2.1 中心控制器

MSP430 单片机是 TI 公司 1996 年开始推向市场的超低功耗微处理器，另外他还集成了很多模块功能，从而使得用一片 MSP430 芯片可以完成多片芯片才能完成的功能，大大缩小了产品的体积与成本。它的主要特点：低电源电压范围，1.8~3.6V；超低功耗，拥有 5 种低功耗模式；灵活的时钟使用模式；高速的运算能力，16 位 RISC 架构，125ns 指令周期；丰富的功能模块，这些功能模块包括：A：多通道 10—14 位 AD 转换器；B：双路 12 位 DA 转换器；C：比较器；D：液晶驱动器；E：电源电压检测；F：串行口 USART(UART/SPI)；G：硬件乘法器；H：看门狗定时器，多个 16 位、8 位定时器（可进行捕获，比较，PWM 输出）；I：DMA 控制器；FLASH 存储器，不需要额外的高电压就在运行种由程序控制写入和擦除；MSP430 芯片上包括 JTAG 接口，仿真调试通过一个简单的 JTAG 接口转换器就可以方便的实现如设置断点、单步执行、读写寄存器等调试；快速灵活的变成方式，可通过 JTAG 和 BSL 两种方式向 CPU 内装在程序。

基于其高速度，低功耗，快速灵活的调试方式选择 MSP430F149 单片机为中心控制器。同时因电流传感器输出的为 0~5V 电压值需进行 AD 转换，而 MSP430F149 单片中集成了通道 10—14 位 AD 转换器，免去了额外的 AD 转换装置。（59 脚 TA0，60 脚 TA1，61 脚 TA2，2 脚 A3，3 脚 A4，4 脚 A5，5 脚 A6，6 脚 A7 的第二功能为 8 路的内部 12 位 ADC 模拟电压输入端口。）

2.2 电流传感器

电流传感器采用 MIK-DJI-0~50A 交流电流传感器变送器电流变送器可以直接将被测主回路中的交流电流转换成按线性比例输出的直流 4~20mA（通过 250Ω 电阻转换成直流 1~5V）恒流环标准信号，经 AD 转换后连续输送到单片机。电流变送器原副边高度绝缘隔离，有两线制和三线制的输出接线方式。三线制变送器有辅助工作电源 +24V 的正端、负端和信号输出端。

电流变送器-性能优点

1)、不易受寄生热电偶和沿电线电阻压降和温漂的影响，传输线可用非常便宜的更细的双绞线导线；

2)、在电流源输出电阻足够大时，经磁场耦合感应到导线环路内的电压，不会产生显著影响，因为干扰源引起的电流极小，一般利用双绞线就能抵抗降低干扰；

3)、电容性干扰会导致接收器电阻有关误差，对于 4~20mA 两线制环路，接收器电阻通常为

250 Ω (取样 $U_{out}=1\sim 5V$) 这个电阻小到不足以产生显著误差, 因此, 可以允许的电线长度比电压遥测系统更长更远;

4)、各个单台示读装置或记录装置可以在电线长度不等的不同通道间进行换接, 不因电线长度的不等造成精度的差异;

5)、将 4mA 用于零电平, 使判断开路或传感器损坏(0mA 状态)十分方便;

6)、在两线输出口容易增设防浪涌和防雷器件, 有利于安全防雷防爆。

2.3 发射接收器

TC35i 新版西门子工业 GSM 模块是一个支持中文短信息的工业级 GSM 模块, 工作在 EGSM900/GSM1800 双频段, 电源范围为直流 3.3~4.8V, 电流消耗——休眠状态为 3.5mA, 空闲状态为 25mA, 发射状态为 300mA (平均), 2.5A 峰值; 可传输语音和数据信号, 功耗在 EGSM900 (4 类) 和 GSM1800 (1 类) 分别为 2W 和 1W, 通过接口连接器和天线连接器分别连接 SIM 卡读卡器和天线。SIM 电压为 3V/1.8V, TC35i 的数据接口 (CMOS 电平) 通过 AT 命令可双向传输指令和数, 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 (Short Message Service, 短消息), 可通过 AT 命令或关断信号实现重启和故障恢复。作为 TC35i 的核心基带处理器主要处理 GSM 终端内的语音和数据信号, 并涵盖了蜂窝射频设备中的所有模拟和数字功能

3 系统软件设计

系统软件部分主要包含信号采集、数据处理、液晶显示、数据发送和接收。

其中信号采集是通过 MSP430F149 单片机自带 A/D 进行, 通过对控制寄存器 ADC12CTL0、ADC12IE、ADC12IFG 和 ADC12CTL1 进行设置后, 定时采集数据存储器 ADC12MEM0~ADC12MEM4 中的数据, 然后通过算式 $N_{ADC} = (4095 * (V_{In} - V_{(R-)})) / ((V_{(R+)} - V_{(R-)}))$ 可算出采集到的电压值 V_{In} 。信息远程发送和接收是重点。

单片机可以通过正确的 AT 指令对 TC35 模块进行初始化和短消息的接收发送。对短消息的控制共有三式: Block 模式、PDU 模式和 Text 模式。使用 Block 模式需要手机生产厂家提供驱动支持。本系统使用 PDU 模式进行短消息的接收和发送。单片机通过以下系列 AT 指令对短消息进行控制。如图 2 为发射和接收过程

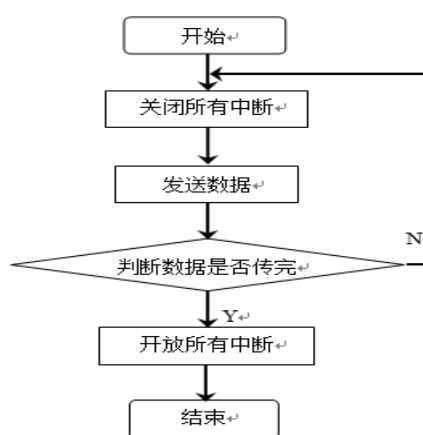


图 2 发射和接收过程

信息发送: 初始化指令 (1) 设置短消息发送格式 $AT + CMGF = 1 < CR >$, 设置 1 代表 PDU 模式, $< CR >$ 是回车符号, 也就是 $0x0d$ 。指令正确则模块返回 $< CRLF > OK < CRLF >$, $< CRLF >$ 是回车换行符号。(2) 设置短消息中心 $AT + CSCA = "+8613800531500"$ (短消息中心) $< CR >$, 设置正确则模块返回 $< CRLF > OK < CRLF >$ 。注意短消息中心号码可能会因不同手机或不同区域而不同。如果读取短消息服务中心则使用命令 $AT + CSCA = ? < CR >$, 模块应该返回 $< CRLF > + CSCA : "+8613800531500" < CRLF >$ 。

信息接收: (3) 设置短消息到达自动提示 $AT + CNMI = 1, 1, 0, 0, 1 < CR >$, 设置正确则模块返回 $< CRLF > OK < CRLF >$ 。设置此命令可使模块在短消息到达后向单片机发送指令 $< CRLF > + CMTI : " SM", IN2DEX$ (信息存储位置) $< CRLF >$ 。接收短消息短消息到来后, 单片机可以接收到指令 $< CRLF > + CMTI : " SM", INDEX$ (信息存储位置) $< CRLF >$, $AT + CMGR = INDEX < CRLF >$, 则模块返回, 读取刚刚收到的短消息内容。

4 结论

经试验后监测线路当前接入总功率的误差约为 1.5%, 并能良好实现过载断电, 用户的远程控制功能。本设计系统是安装家庭线路上用来检测家庭用电的安全性, 自动检测并控制的装置, 并可远程控制, 极大地方便了人们生活, 顺应了现代社会向智能化靠近的方向, 对家庭用电安全问题的提高生活质量的提升具有重大的意义。

参考文献

1. 程德福, 王君, 凌振宝. 传感器原理及应用. 北京: 机械工业出版社, 2008.
2. 康华光. 电子技术基础 (模拟部分). 北京: 高等教育出版社, 2005.
3. 王季梅. 短路电流限流开断器研制成功[J]. 电网技术, 2004(10).
4. 赵敏. 基于电流变化率的电网短路保护原理[J]. 电网技术, 2008(04)
5. 李长林. Visual Basic 串口通信技术与典型实例[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 56- 78.
6. 吴玉田. GSM 模块 TC35 及其应用[J]. 计算机测量与控制, 2002, 10(8)
7. 杨鹏、杨穗. 基于 GSM 网络和无线传感网络的智能家居系统的设计与实现[J]. 微计算机信息, 2012, 28 (10)
8. Kaplan E D. Understanding GPS: principles and applications [M] .Boston : Artech House ,1996. 75~132.
9. Spilker ,JrJJ . GPS signal structure and performance characteristics[J]. Navigation ,1978 ,25 (2) :121~146.

微机保护遥信遥测模拟系统设计*

赵一飞； 何晓恬； 李永恒

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院 长春 130012)

摘要：随着智能电网的发展和广泛应用，传统的继电保护装置已经无法实现远程监测、控制等要求。为了克服传统电力系统保护装置的这一缺陷，微机保护装置结合遥信遥测技术，在智能电网中得到了广泛的应用。本系统采用 51 单片机作为控制单元，设计并实现了模拟的遥信遥测装置，使用液晶屏来实时显示电路状态及参数值，计算机通过串口读取单片机发送的数据，进行动态监测与显示。使用基于 C#语言、MVC 模式开发的人机交互界面，可以采用遥信遥测的方法实现电气参数的设定、修改、取消等。本文给出了硬件设计电路和软件功能实现程序，对微机保护系统功能进行了模拟，该装置对远程控制模拟的研究对于电力系统的稳定运行、电网提供可靠的电能质量和稳定电压有着非常重要的意义。

关键词： 微机保护 遥信遥测 Visual Studio

Design of Simulation System for Remote Signaling and Telemetry of Computer Relay

Zhao Yifei; He Xiaotian; Li Yongheng

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

Abstract: With the development and the extensive application of smart grid, traditional relay protection devices have been unable to achieve remote monitoring, control and other requirements. In order to overcome the defect of traditional protection devices of power system, microcomputer protection device combined with remote signaling telemetry has been widely applied in the smart grid. The system is based on the basis of 51 SCM, achieving the computer monitor and data collection by the technology of serial communication. Using the SCM LCD to display the real-time data and monitor the status of the circuit. Design the interactive interface by Visual Studio. In addition, running and canceling the system, setting and changing the data by the method of remote signaling and telemetry. This paper presents the design of hardware and the program of software functions and simulates the functions of the system of microcomputer protection. The remote control of the device is really important for the stable running of the power system, providing reliable power quality and voltage stability.

Keywords: Computer Protection; remote signaling telemetry; Visual Studio

0 前言

随着智能电网的提出、研究与应用，在不断提升电力系统应用能力水平的同时，也对电力系统保护装置提出了新的挑战和要求。为了保证电力元件能够正常的工作，保证电力系统的稳定运行，需要进一步掌握继电保护装置的运行状态。微机保护装

置已成为继电保护的主流，而网络为模块化的分布式系统提供了相互联系和通信的通道。微机保护网络化为继电保护的发展和设计带来一种新的理念和创新，它会大大简化硬件设计、增强硬件的可靠性，使装置真正具有局部或整体升级的可能。伴随着电力系统的高速发展和计算机技术、通信技术的进步，继电保护技术将面临着进一步发展的趋势。国内外继电保护技术发展的方向是计算机化、网络化、一

*指导教师：王永志

项目类型：创新项目

体化（测量、控制、保护、数据通信一体化）和人工智能化。总之，微机保护必将随着各种技术的进步和发展呈现更新的特征，也将获得更广泛的应用。

1 总体设计及工作原理

设计一个模拟电力系统微机保护硬件装置原型，完成远程操作、控制的系统。最重要的是能够根据软件发出的指令实现装置参数的远程设置、修改等操作，并能实时显示测量参数值。

首先是完成计算机与硬件装置衔接与通信，硬件装置能够接收、识别计算机发出的指令，并能自动完成这些指令要求实现的动作（LCD 显示、数据存储等操作）。在硬件方面，设计“远方/就地”控制硬件装置电路，装置通过串口与计算机进行数据传输。在软件方面，基于 Win Form (C#) 设计人机交互界面，采用 C/C++ 语言编写单片机控制程序（远程控制与通信功能）。计算机作为上位机，51 单片机作为下位机，通过人机交互界面利用串口通信实现计算机与单片机的通信，计算机向单片机发送指令数据，单片机通过判断上位机发送的指令进行不同的响应，以达到远端软件控制硬件的实验目的。

2 硬件电路设计

2.1 串口通信方案

在串行通信方面，51 单片机有一个特殊的缓冲器，串行接收和发送缓冲器，即 SBUF 缓冲器。SBUF 缓冲器可以同时接收数据和发送数据，但是串行接收缓冲器和发送缓冲器在物理上是独立的。使用时需要注意的是接收缓冲器只能读出而不能写入；相反，发送缓冲器则只能写入却不能读出。根据此原理设计单片机的串行口 TXD 和 RXD 引脚连接 MAX232 芯片，再连接到 9 针串口，使得单片机和计算机串口电平一致，构成标准的 RS-232 接口，实现单片机与计算机之间串口通信。具体方法是采用一块 MAX3221 芯片把从单片机中 TXD 过来的信号进行电平转换后输出到 PC，把从 PC 发过来的信号发送给 RXD。图 1 显示了设计中的 RS-232 接口电路连接图。

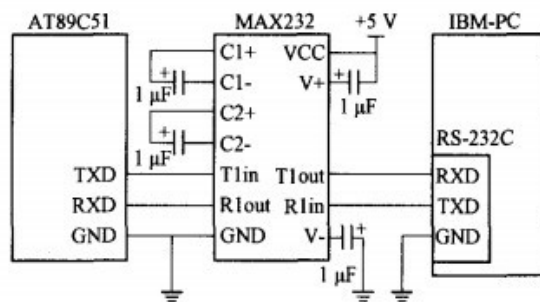


图 1 PC 机与单片机通信接口电路设计

2.2 就地控制电路

该部分主要包括数据采集模块、A/D 转换模块、控制模块、显示模块等模块。采用 AT89C51 作为控制模块，ADC0809 作为 A/D 转换模块的核心，ADC0809 本身具有 8 路模拟量输入端口，通过 C、B、A 等 3 位地址输入端，完成从 8 路中选择一路进行转换。如每隔一段时间依次轮流改变 3 位地址输入端的地址，就能依次对 8 路输入电压进行测量。LED 数码管的显示采用软件译码动态显示，通过按键模块的操作可以选择 8 路循环显示，也可以选择某条单路显示，以此来实现该电路对数据的显示和监测，图 2 给出了就地电路的电路图。



图 2 就地电路连接图

2.3 远方控制电路

远程控制电路需要实现单片机与 PC 机之间的远程通信。设计分发送和接收两大模块，发送部分包括 RS-232 接口电路、MAX232 接口电路，引用相应的管脚相连，并将相应的软件程序转入电路中。当电路是相对独立时，可直接调用电路参数值，其影响和干扰就小。在满足发射和接收模块的要求后，可单独对控制进行调整。既能通过发送部分来设定参数、修改阈值等操作来控制单片机模块，又能通过接收模块接收实时数据、监测电路，实现了 PC 机对远端单片机的控制。具体的电路设如图 3 所示。

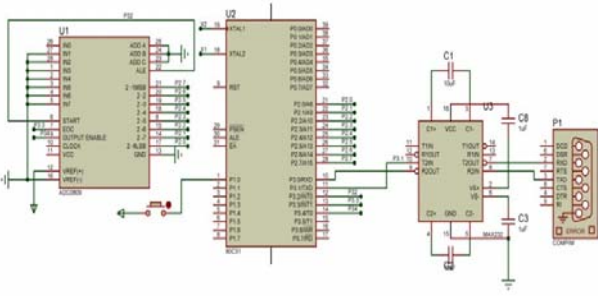


图 3 远方控制电路

3 软件设计

系统主程序包括上电初始化、自检、开中断(数据采集)、故障检测与报警显示和循环自检等。系统上电或手动复位后，首先进行初始化，在初始化过程中要关全局中断、中断使能，中断标志均置 0；初始化 PIE、PIE 中断矢量表，以及外设和所需配置的资源（主要包括各编译量的初始化、寄存器初始化、各种标志位清零等）。

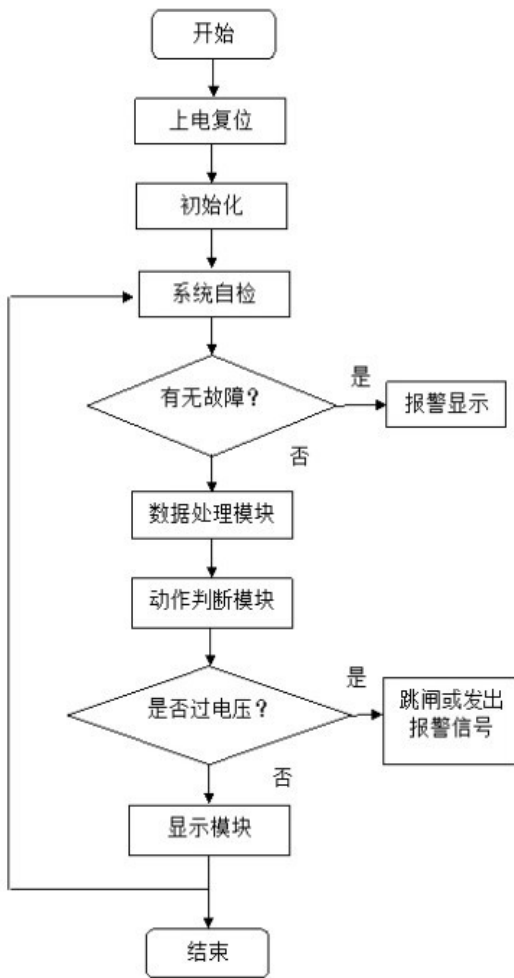


图 4 软件主要流程图

初始化结束后进入自检,包括 RAM 区读写检查、

定值检查、输入输出回路自检等。若自检无错误则开中断，以便实现采样和串行通讯等功能（由数据采集程序、串口通讯程序和与上位机通讯程序等几个子程序实现）。接下来需要判断是否有故障存在，如果有则通过开关量输出保护，同时报警，并在液晶屏上显示故障信息；若无故障则进行循环自检，继续前面的工作。

3.1 上位机界面设计

上位机程序采用 Visual Studio 2005 设计与编程实现。通过 Serial Port 控件来实现串口通信，需要串口组件的波特率，数据位，然后打开串口可以实现通信功能（发送、接收）。串口通信实现部分程序为：

```
spCOM.PortName = "COM1";
spCOM.BaudRate = 19200;
spCOM.DataBits = 8;
spCOM.Open();
spCOM.Write("6");
```

3.2 单片机串行通信程序设计

单片机实现与上位机的串口通信即要求单片机能够接收上位机发出的命令，解析命令后进行相应的响应动作，故单片机串行通信程序的设计主要是单片机串口的接收部分。串口初始化时需设置与上位机相同的波特率，单片机进入定时器工作方式。本设计中只需要单片机接收数据，故单片机串口接收主程序片断为：

```
while(1)
{
    while(RI==0);RI=0;
    b=SBUF;
    if (b==0x36) p16=0;
}
```

4 结论

本课题完成了基于计算机与单片机之间串口通信的微机保护装置遥信遥测系统，微机保护装置遥信遥测控制的研究对于电力系统的稳定运行，对于电网提供可靠的电能质量，稳定的电压有着非常重要的意义。

课题中利用上位机与下位机的通信来实现远程遥信遥测的控制，在电力系统微机保护中有着非常广泛的应用，通过通信线路、继电器等将工作人员与高电压大电流电路的工作环境隔离开，实现远距离的设置、控制，不仅保障人员安全，同时还可以通过自动化提升工作效率和质量。

参考文献

1. 王亮, 赵文东. 微机继电保护的现状及其发展趋势 [J]. 科技情报开发与经济. 2006, 16 (18): 150-151.
2. 贺家李. 电力系统继电保护技术的现状与发展 [J]. 中国电力. 1999, 32 (10): 39-40.
3. 高亮. 电力系统微机继电保护 [M]. 中国电力出版社
4. 田吉, 曹俊彪, 王福林. 一种通用微机继电保护实验装置的研制 [M]. 中国继电保护及自动化行业年会论文集. 2007: 119-122
5. 罗士萍编. 微机保护实现原理及装置 [M]. 中国电力出版社. 2001
6. 丰明宝, 李晓梅. 新型微机保护装置硬件和软件的研究 [J] 山东科技大学, 2006
7. 许建安. 电力系统微机继电保护 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
8. 李佑光, 林东. 电力系统继电保护原理及新技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
9. 丁刚. 电力系统微机继电保护仿真研究 [D]. 南京理工大学, 2007.
10. 蔡晓焯. 基于网络计算的广域继电保护系统研究 [D]. 上海交通大学, 2007.
11. Lan ZhiHui, Xu YongHai, Xiao Xiang-Ning. Research of the Influence to the Pickup Unit of Microcomputer relay protection from Electric Locomotive Loads. 2008 IEEE Electrical Power & Energy Conference, 2008, 32: 1-6.
12. Gangjun Zhai, Ying Wang, Longzhi Li, et al. Development of Power System Relay Protection Experiment in E-Learning [J]. Procedia Engineering, 2012, 29: 2975-2979.
13. Liu Yucheng, Liu Yubin. Design Strategy of Anti-Electromagnetic Interference for Microcomputer Relay Protection System [C]. Information Technology and Applications (IFITA), 2010, 401331: 180-183.
14. WANG HaiZhu, CAI ZeXiang, SU ZhongYang, et al. The Analysis of Relay Protection Communication Mechanism Based on IEC61850 [C]. The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, 2011, 510641: 223-227.

基于PID算法的旋转倒立摆系统设计*

苗红松；胡睿帆；白杨

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 旋转倒立摆系统是快速、多变量、开环不稳定、非线性的高阶系统, 在平衡控制等问题上具有广泛的应用。旋转倒立摆系统以光电编码器作为角度传感器获取摆杆的角度, 利用飞思卡尔 K60 单片机作为控制器, 产生 PWM 波控制步进电机, 使得摆杆能够完成倒立并保持倒立状态。通过数学建模的方法, 利用 Matlab 分析旋转摆臂和摆杆的运动状态, 设计 PID 参数来实现摆杆倒立的要求。使用光电编码器测得摆杆的角度, 闭环系统实现精确控制。并采用步进电机细分驱动器对步进电机角度细分, 使得步进电机的步距角仅为 0.036° , 由步进电机带动摆臂运动, 从而引起摆杆的运动, 在 PID 算法控制下实现了短时间内摆杆在小角度范围内维持倒立状态。

关键词: 旋转倒立摆; 光电编码器; 步进电机细分; PID 控制

中图分类号: TP273+.4

文献标识码: A

文章编号:

Rotary inverted pendulum system design

Miao Hong-song, HU Rui-fan, Bai Yang

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

Abstract: This work is based on photoelectric encoder for angle sensor gets the rotation angle of the swing arm and swing, using Freescale K60 as a control board, to drive the stepper motor, swing stands on his head to complete and maintain the state upside down. In this work, we have many unique. First of all, we use two photoelectric encoder measured rotation angle of the swing arm and swing and fusion, uses a closed-loop system for precise control. Second, we use stepping motor subdivision driver of stepping motor point subdivision, stepper motor step angle only 0.036° , chose the topic of requirements. Last us through mathematical modeling methods using matlab analysis of rotating movement of the arm swing and swing state, integration of fuzzy control algorithm PID control for realization of inverted pendulum rod requirements.

Key words: optical encoder; closed-loop system; stepping motor subdivision; fuzzy control; PID control

和机器人的平衡控制等问题, 有着广泛的应用。

0 前言

在控制理论教学以及各种控制实验中, 倒立摆控制系统^[1]是一种非常理想的实验平台。倒立摆作为一个被控对象, 是快速、多变量、开环不稳定、非线性的高阶系统, 必须施加十分强有力的控制手段才能使之稳定。倒立摆控制系统的研究对控制系统中非线性问题、镇定问题、随动问题以及跟踪问题给出了很好的解释, 如火箭发射中的垂直度控制

1 系统设计

整个系统主要划分为以下 6 个模块: 控制器模块、电机驱动模块、摆杆角度测量模块、旋转摆臂测量模块、键盘输入模块、液晶显示模块。系统总体框图如图 1 所示。

*指导教师: 随阳轶

项目类型: 竞赛项目

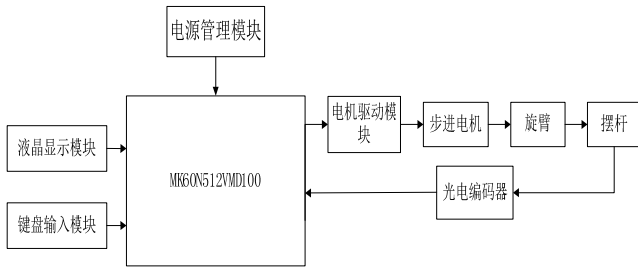


图 1 系统整体示意图

Fig.1 Overall system schematic

2 系统机械设计

系统机械部分包括底座、连接轴、配重、旋臂、量角器、编码器、步进电机、摆杆这八大部分。底座稳定整个系统，步进电机通过连接轴带动旋臂，配重平衡旋臂，旋臂再带动摆杆，通过光电编码器测摆杆角度，量角器直观显示其角度。系统机械示意图如图 2 所示。

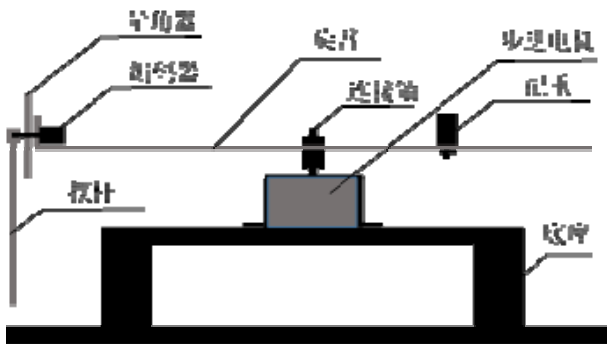


图 2 系统机械示意图

Fig.2 System Mechanic Schematic

3 系统理论分析与计算

本文所研究的旋转倒立摆系统模型如图 3 所示，倒立摆模块由倒立摆的摆杆和一个支撑摆杆的旋转臂组成，摆杆固定在旋转臂的一端，可以在垂直于转臂的方向上做 360 度的转动。旋转臂的另一端安装在一个旋转伺服装置上，伺服装置通过电机驱动齿轮转动来实现旋转臂在水平面内做 360 度的旋转。在摆杆的底端装有光电编码器，用来检测角度的变化并将信号传给单片机。

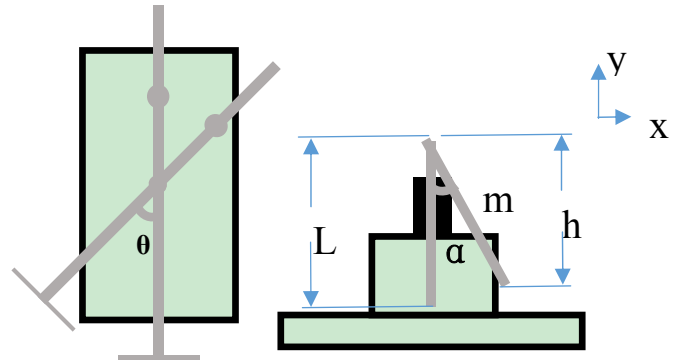


图 3 旋转倒立摆系统模型

Fig.3 Model of rotational inverted pendulum system

如图 3 将旋臂转动的角度设为 q 角，将摆杆摆动的角度设为 α 角。使用 *Lagrange* 方程进行系统建模，系统的势能即为摆的势能：

$$V = P \cdot E_{pendulum} = mgh = mgL \cos \alpha \quad (1)$$

系统的动能由旋臂的转动和摆的 x 方向运动、 y 方向运动以及绕重心的旋转运动组成，系统的总动能为：

$$\begin{aligned} T &= K \cdot E_{Hub} + K \cdot E_{V_x} + K \cdot E_{V_y} + K \cdot E_{pendulum} \\ &= \frac{1}{2} J_{eq} (dq)^2 + \frac{1}{2} m (rdq - L \cos \alpha (da))^2 + \\ &\quad \frac{1}{2} m (-L \sin \alpha (da))^2 + \frac{1}{2} J_{cm} (da)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

由此得到拉格朗日方程为：

$$\begin{aligned} L = T - V &= \frac{1}{2} J_{eq} (da)^2 + \frac{2}{3} mL^2 (da)^2 - \\ &\quad mLr \cos \alpha (da)(dq) + \frac{1}{2} mr^2 (dq)^2 - mgL \cos \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

其中的广义坐标为 α 和 q 有如下方程：

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial (da)} \right) - \frac{\partial L}{\partial \alpha} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{4}{3} mL^2 \ddot{\alpha} - mLr \ddot{q} - mgLa = 0 \quad (5)$$

由于倒立摆系统在运行时不允许摆角 α 过大，可以在 $\alpha = 0$ 附近进行线性化，此时有 $\sin \alpha \approx \alpha$ ， $\cos \alpha \approx 1$ 。把他们代入并由以上两式联立化简，最终得到系统的传递函数为：

$$G(s) = \frac{mlrs}{\frac{4}{3}mL^2s^2 - mgL} \quad (6)$$

由分析得出该系统不稳定，需要引入反馈，并加入PID环节^[2]，使系统趋于稳定。控制流程如图4所示。

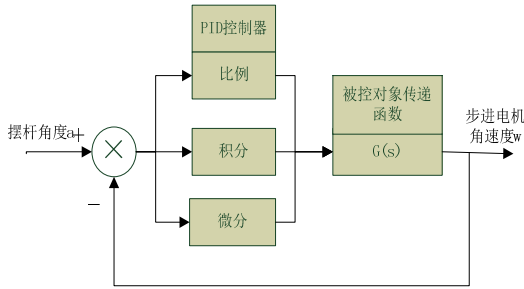


图4 控制流程图
Fig.4 Control flow

由于旋转倒立摆系统自身的特点，在没有控制或控制效果不佳的情况下很难稳定。对于倒立摆的控制有两个变量，只对这两个变量的控制并不能使倒立摆达到平衡，因为除了位置信号以外还缺少了反映运动情况的信号，控制器必须在兼顾这些因素的情况下进行对倒立摆的控制。所以在倒立摆的控制中要对 θ 和 \dot{q} 一同进行。

对选定的控制量在MATLAB/SIMULINK中进行建模分析，由跟轨迹图判断系统的稳定性，从而寻找到合理的PID参数。

如图5、图6所示是该物理系统的根轨迹图和经过调整后系统的阶跃响应曲线图。

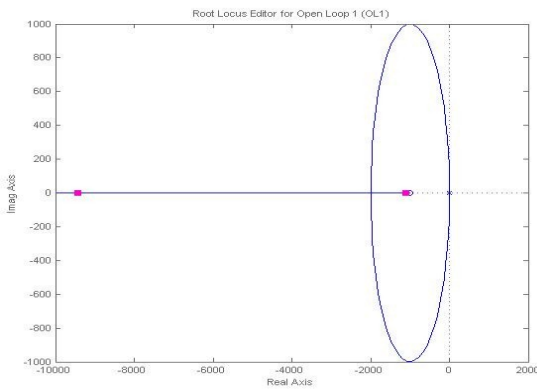


图5 根轨迹图
Fig.5 Root locus diagrams

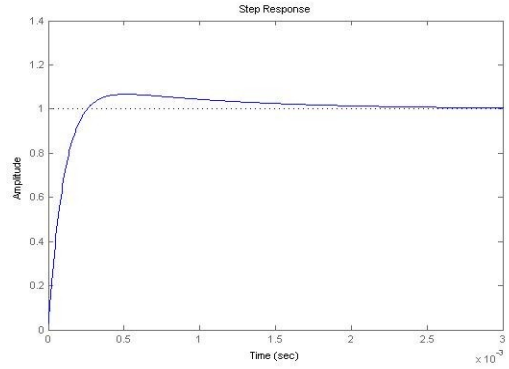


图6 系统的阶跃响应曲线图

Fig.6 System step response curve

在角度的PID控制器的参数选择上，可以参考使用Matlab对系统模型仿真^[3]得到 K_p 、 K_i 、 K_d 参数。对获得的三个参数进行微调，经多次实验调整，取比例增益为4.0、微分增益为0.001、积分增益为0.0004。

4 软件设计

由飞思卡尔单片机产生PWM波控制步进电机，通过欧姆龙编码器反馈角度给单片机，角度融入控制算法，得出相应的步进电机控制信号，使摆杆维持倒立状态。如图7所示。

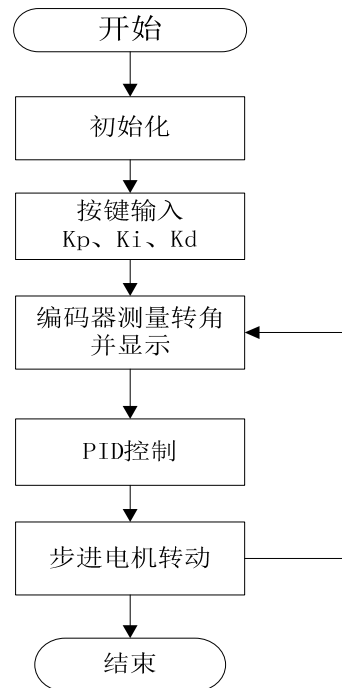


图7 软件流程图

Fig.7 software flow chart

5 测试与分析

从摆杆处于自然下垂状态开始，控制旋臂作往复旋转运动，尽快使摆杆摆起倒立，保持倒立状态。在仿真获取的 K_p 、 K_i 、 K_d 参数的基础上微调^[4]，获得最佳的参数值并记录表 1 中。

表 1 测试结果

Tab.1 Test Results

测试次数	1	2	3	4	5
K_p	3.8	3.9	4.0	4.5	5
K_i	0.0005	0.001	0.001	0.002	0.003
K_d	0.0002	0.0004	0.0007	0.0009	0.0010
是否平衡	否	是	是	是	否

通过测试结果分析得知，在人为将摆杆倒立到 170° 下启动电机，摆杆在合适的 PID 参数下倒立平衡时间均能超过 5s；旋臂在摆杆处于倒立状态下，始终是单方向做圆周运动，并能很快转完一周。并分析可知，如果适量地提高 PID 环节中的比例系数，倒立摆平衡时间会增大，但是需要的时间也会增大。如果 PID 参数调整过大，则系统不能稳定。

6 结束语

根据测试结果，要使摆杆一直保持倒立摆的状态，对电机的要求和机械部分的要求很高，机械联轴的稍微抖动都会导致系统的不稳定。而且数学建模的整个过程都是理想的，和实际情况总有所偏差，最终产生误差的累计，尽管有 PID 控制和多个补偿，但还是不能避免误差。对于本系统中所使用的步进电机动态响应非线性，虽然系统达到了倒立要求，但是系统稳定的区域非常小，有待改进。

参考文献

1. 李保林, 吕跃, 袁浩. 一级旋转倒立摆的模糊控制[J]. 实验室科学, 2008, (5): 77-79
2. 江晨. 旋转式倒立摆的控制算法研究及实验系统设计 [D]. 苏州大学: 控制理论与控制工程, 2010. 65-68
3. 杨帆, 赵党军, 李国平, 胡为兵. 基于 SDRF 方法的一级旋转倒立摆控制[J]. 华中科技大学学报, 2008, 36(10): 25-28
4. 柳志远, 张湘平. 基于遗传算法 PID 的旋转式

倒立摆控制[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(2): 180-183

一种智能家居水灾检测报警系统的实验研究*

李肃义, 王多强, 白杨, 张伟杰

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 家庭水灾频发, 不仅给住户带来了经济损失, 且易造成触电、引发火灾等其他灾害, 所以家庭水灾的检测报警受到越来越多的关注。针对当前市场上缺少成本低、分辨率高的适合家庭使用的水灾检测报警系统, 本文研究与设计了一种光反射式非接触的液位检测传感模块, 并利用该模块开发了具有发送报警短信功能的家居水灾检测报警系统。该液位检测传感模块采用线性排列的光敏电阻阵列作为光接收部件, 不仅保证了分辨率和精度, 同时降低了成本。水灾检测报警系统包括: 液位检测传感模块、单片机控制模块、GSM 短信发送模块及电源模块。本文介绍了系统的硬件电路设计方案、软件程序流程图及检测原理和检测结果。经过大量的实验测试和数据分析, 结果显示: 使用该检测模块的水灾检测报警系统分辨率为 3mm、平均误差-0.01mm、标准误差 0.42mm、72 小时带电工作误报率为 0, 实验室模拟不同漏水情况, 均可发送报警短信。

关键词: 家居水灾报警 光反射式 非接触型 液位检测 短信报警

中图分类号: 7H744

文献标识码: B

Intelligent house leaking detection and alarm system

Li Suyi; Wang Duoqiang; Bai Yang; Zhang Weijie

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

Abstract: This study designs a kind of discontinuous reflected liquidometer system which has the characteristics of low cost, high-resolution, high sensitivity and high anti-interference capability. It fits for the minimum liquid height and can be applied to the house-leaking. The photoresistances that are linear set on the liquidometer are used to receive the laser signal to improve the resolution. The discontinuous reflected liquidometer system consists of sensor, MCU, GSM and power supply. The hardware circuit design, software design, detection principle and testing result are introduced. By data analysis we can get the conclusion: sensor resolution 3mm, average error 0.19mm, standard error 0.51mm. This system can measure several kinds of house-leaking and run normally at least 72 hours.

Key words: house-leaking discontinuous reflected GSM liquidometer

0 引言

近年, 家居水灾事故多发, 不仅给住户带来不必要的经济损失, 而且水灾极易引发火灾、触电等其它次生灾害。为此, 家用水灾检测报警的需求与日俱增, 而如何实现更加快捷、准确、方便、敏捷的液位检测报警现成了亟待解决的问题。智能报警系统在自动控制领域已经较为常见, 但缺少适合家居使用的低成本、高分辨率的智能报警系统。

现阶段的液位检测方法大多集中在: 噪声监测

漏水^[1]、液体短路法、流量检测法、磁浮子水位仪测量法^[2]和扩散硅压阻晶体传感器^[3]等接触式液位检测方法。但接触式液位检测装置由于与被测液体直接接触, 导致检测装置易挂垢, 导致传感器无法准确检测。

而现有的非接触式液位检测装置多采用超声^[4]等传播媒介, 但体积大、成本高、价格贵、操作难、结构复杂, 无法应用于家居、日常公共场所供个人使用。为此出现了基于光折射式的非接触液位检测方法。但是基于光折射式的液位检测方法要求被测液体为透光液体, 且依赖于光学成像透镜。

*指导教师: 李肃义

项目类型: 创新项目

同时现有的光折射式非接触液位检测方法^[5]，为了实现液位的上升或下降情况实现跟踪检测，多采用线性阵列 CCD^[6]或线性排列的光纤传感器^[7]作为光接收部件，这样虽然实现了对液位变化情况的跟踪检测，提高了分辨率，但成本却大大增加。

综上所述，由于接触式液位检测装置存在易挂垢、使用寿命短、无法检测腐蚀性液体、成本高等缺点；而非接触式的液位检测装置则存在体积大、成本高、依赖光学成像透镜、只能检测透光液体、抗干扰能力差等缺点。针对上述检测装置缺点，本文设计并制作了光反射式、非接触型的液位检测传感模块，克服了上述缺点。

作为家居水灾检测报警器使用，尤其是当家中无人时，单纯依靠声光报警，无法实现远距离检测，液位检测报警的效果不佳。但随着 GSM 技术的不断发展，这一问题得到了改善。当液位发生变化时，GSM 短信发送模块可以快速的发送报警短信到用户手机，达到快速检测的，远程报警的要求。

1 总体设计

总体设计如图 1 所示，主要有光反射式、非接触型液位检测传感模块、单片机控制模块、GSM 短信发送模块和 LCD 显示模块构成。其中光反射式、非接触型液位检测传感模块的输出端与单片机控制模块输入端相连，单片机控制模块的信号输出端与 LCD 显示模块及 GSM 短信发送模块相连。

当液位发生变化时，光反射式非接触型液位检测传感模块将液位信息发送单片机控制模块，单片机控制模块对信息进行分类处理，最终通过 GSM 短信发送模块向用户发送报警短信，同时，在 LCD 屏幕上显示灾情信息。

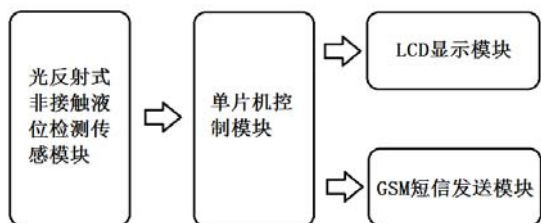


图 1 总体设计图
Fig.1 Overall Design

2 硬件设计与实现

2.1 光反射式、非接触型液位检测传感模块设计及制作

如图 2 为本设计的光反射式非接触型液位检测传感模块的设计原理图：当激光照射水面，由于液面的存在反射现象，当液面上升时，反射光线会向着靠近光源方向平行移动；当液面下降时，反射光线会向着远离光源的方向平行移动。若在反射光光路上设置若干线性排列的光敏电阻作为光接收部件来感知光强的变化，则可以通过检测光敏电阻输出的逻辑电平信号来判断液位的变化情况。

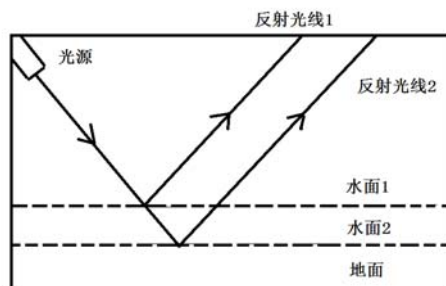


图 2 光反射式非接触型液位检测传感模块原理图
Fig.2 Light-reflective Non-contact Level Detection Sensor Module Schematic

但是由于光线存在漫反射且光敏元件较灵敏易受到日光的干扰，单纯只使用光敏元件作为光接收部件抗干扰能力差、精度不高、分辨率较低。无法实现对液面的跟踪检测，也无法满足家居水灾检测报警对分辨率、精度需要。所以本模块将光敏电阻内嵌在黑色的光接收管内，作为光接收部件，这样不仅减小了漫反射的影响、降低了成本，同时也降低了日光的干扰，提高了精度，和抗干扰性，分辨率达到 1mm，满足了对检测分辨率的要求。如图 3 为光反射式非接触型液位检测传感模块的设计图，其中 1 为样机外壳，2 为激光光源，3 为光接收管，4 为光敏电阻。

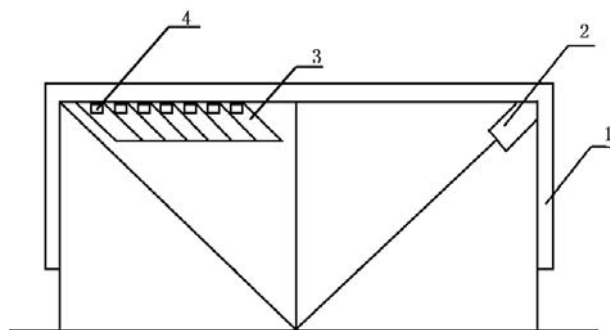


图 3 光反射式非接触型液位检测传感模块原理图
Fig.3 Non-contact Optical Reflective Liquid Level Detection Sensor Module Schematic

2.2 单片机控制模块

如图4为本设计单片机控制模块计算原理图。图中 α 为光线入射角，H为装置高度，h为水面变化高度，L为装置长度，x为反射光线在检测装置上表面光斑像移距离。

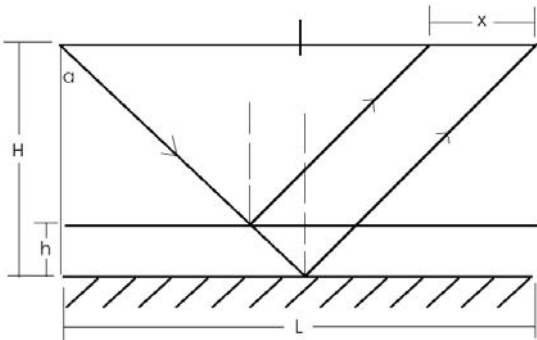


图4 信号处理模块计算原理图

Fig.4 The Signal Processing Module Calculates The Schematic

公式推导过程如下：

$$\tan \alpha = (L/2)/H \quad (1)$$

$$\tan \alpha = (x/2)/h \quad (2)$$

$$x = (L/H)h \quad (3)$$

由几何分析得 $x = (L/H)h$ ，即光斑移动的位置由装置高度、长度和液位变化高度决定。据此可将液位检测转换为对光斑位置的检测。

为实现液位的跟踪检测，本设计使用线性排列的光敏电阻阵列作为光接收部件。用 $10k\Omega$ 的电阻和光敏电阻串联，进行分压，当光敏电阻感受到光照时，单片机对应的 I/O 口会接收到低电平，即认为该点检测到光斑，单片机通过程序进行判断得出当前的水位信息。

2.3 GSM 短信发送模块

通过市场调查，我们选择功耗低、使用广泛的 SIM300 制作 GSM 短信发送模块。使用该模块时只需将一张 SIM 卡安装至模块卡槽内。上电正常运行时本模块进入等待报警信号的状态，当液位发生变化时，由单片机控制发送报警短信。

3 软件设计与实现

本系统的软件设计总共分信号处理和短信发送两部分。

3.1 信号处理部分软件设计

本部分由两个程序组成：

主程序中先对各端口进行定义及对中断程序初始化，然后进入主循环。主循环中先显示当前液位等级，然后检测是否有液位变化，一旦发生变化，立即向 GSM 短信发送模块发送发短信信号，并把短信

计数器加 1，开中断；如果没有发生变化则继续显示当前水位等级。

当液位发生变化时，从距离光斑最远的光敏电阻开始扫描。如果检测到的电平信号是 0，则直接产生报警信号，并读出当前液位。同时停止继续向下扫描。如果检测到 1，说明该点没有光斑，则开始检测下一个靠近光源的光敏电阻。以此类推，直到检测到第一个 0 为止。同时返回，重头开始检测第一个电阻。如此循环进行检测。

本程序使用 60ms 的定时器中断，在中断子程序中进行计数，达到 6s 的中断(实验用，正常报警用时可调)。每当中断时间到，先检查短信计数器中的数值是否小于或等于 2，若是，则向 GSM 短信模块发送发短信信号，并把短信计数器加 1；否则立即关闭中断。具体流程如图 5 所示。

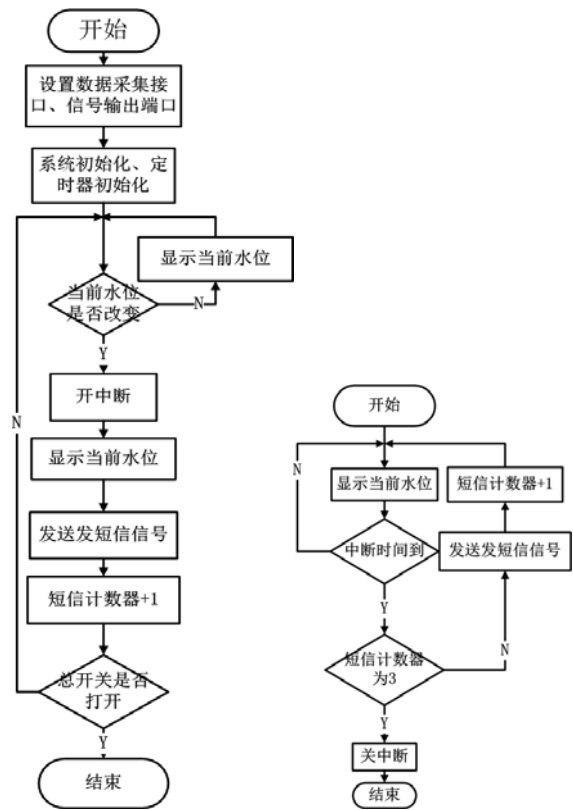


图5 信号处理部分软件流程图

Fig.5 The Signal Processing Part Of The Software Flowchart

3.2 短信发送部分软件设计

单片机通过串口与 GSM 短信发送模块通讯，控制短信发送。本段程序对 GSM 通讯模块的操作指令均可以通过 AT 命令手册^[13]查询。

首先，对 LCD 显示模块，单片机控制模块，和 GSM 短信发送模块初始化。GSM 模块启动成功后系统进入检测水位的循环。其次，GSM 模块从单片机的串口提取 3 位编码，进行判断：如果检测到“000”则返回单片机，反之则等待。如果该编码

维持一段时间后变为“000”，则说明符合通讯校验，所得到的编码有效，反之则无效。最后，单片机通过对编码内容的识别，确定对应的水位并控制 GSM 模块发送报警短信。发送完成后循环检测编码。软件流程如图 6 所示。

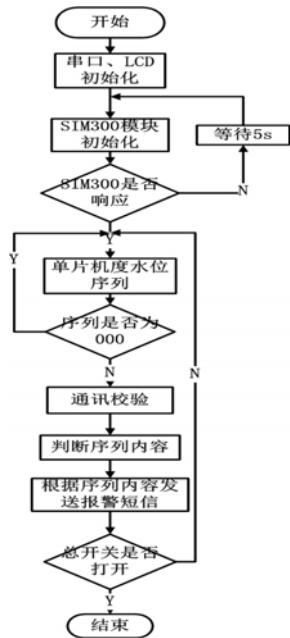


图 6 短信发送部分软件流程图

Fig.6 SMS Sending Part Of The Software Flowchart

4 样机的检测与误差分析

由于液面的波动会产生误差，考虑到在实际测量中液面微小的波动即会产生 1mm 的液位变化，所以为了使检测报警系统使用更加稳定，减少因液面波动引起的误差导致误报或频繁报警，将被测分为 6 级，每级间隔 3mm，随着液位上涨，若达到相应的级别时，LCD 显示当前液位等级（无水时为 0），同时 GSM 模块发送一条报警短信到目标手机。

1) 实验仪器：水槽、自制家居水灾报警系统、游标卡尺

2) 精度和分辨率测量实验

(1) 测量方法：向水槽中缓慢注入液体，当 1cd 屏幕显示水位等级变化时，停止注水，用游标卡尺测量当前液位并记录。完成后继续向水槽中注水知道第 6 级止。按此测量方法测量 10 组，测量数据如表 1，误差分析如表 2，其中 Δh 为测量值与实际值之差，单位 mm。

表 1 测量数据表 (cm)

Table 1 Measurement Data Sheet (cm)

实际值	测量值	Δh	实际值	测量值	Δh	实际值	测量值	Δh
1.00	1.00	0.00	4.00	4.00	0.00	7.00	6.80	-0.20
1.00	1.20	0.20	4.00	4.20	0.20	7.00	7.10	0.10
1.00	1.20	0.20	4.00	4.10	0.10	7.00	7.10	0.10
1.00	1.10	0.10	4.00	4.20	0.20	7.00	6.90	-0.10
1.00	1.10	0.10	4.00	4.20	0.20	7.00	7.00	0.00
1.00	1.20	0.20	4.00	3.80	-0.20	7.00	7.10	0.10
1.00	1.00	0.00	4.00	4.00	0.00	7.00	7.10	0.10
1.00	1.10	0.10	4.00	4.10	0.10	7.00	7.10	0.10
1.00	1.10	0.10	4.00	3.20	0.80	7.00	1.90	0.90
1.00	1.20	0.20	4.00	4.90	-0.10	7.00	6.90	-0.10
10.00	9.80	-0.20	13.00	12.70	-0.30	16.00	15.90	-0.10
10.00	10.00	0.00	13.00	12.60	-0.40	16.00	15.80	-0.20
10.00	9.20	-0.80	13.00	12.20	-0.80	16.00	16.20	0.20
10.00	9.70	-0.30	13.00	12.80	-0.20	16.00	15.50	-0.50
10.00	9.70	-0.30	13.00	12.90	-0.10	16.00	15.80	-0.20
10.00	9.80	-0.20	13.00	12.90	-0.10	16.00	15.90	-0.10
10.00	10.20	0.20	13.00	13.40	0.40	16.00	16.20	0.20
10.00	9.80	-0.20	13.00	13.20	0.20	16.00	16.40	0.40
10.00	10.20	0.20	13.00	13.20	0.20	16.00	16.00	0.00
10.00	9.70	-0.30	13.00	13.00	0.00	16.00	15.90	-0.10

表2 误差分析表 (cm)

Table 2 Error Analysis Table (cm)

实际值	平均 误差	标准 误差	实际值	平均 误差	标准 误差	实际值	平均 误差	标准 误差
1.00	0.12	0.14	4.00	0.13	1.30	7.00	0.10	0.32
10.00	-0.19	0.35	13.00	-0.18	0.15	16.00	-0.04	0.26

(2) 测量结果

根据表2, 对平均误差取均值为-0.01mm; 对标准误差取均值为0.42mm。

可以近似得出测量的平均误差为-0.01mm; 标准误差为0.42mm。由偶然误差的高斯理论可知测量误差有68.3%在0.42mm之间。

3) 系统误报率检测实验

(1) 检测方法: 实验室条件下模拟无水、渗水(缓慢水流)、漏水(中等流速水流)、水管爆裂(湍急水流)四种情况。检测在这四种情况下家居水灾检测报警系统是否正常报警。在不同的情况下分别使报警系统带电工作72小时, 观察系统报警情况

(2) 检测结果

无水灾发生: 系统发送报警短信0条。系统误报率为0。

发生水灾时: 渗水、漏水和水管爆裂三种不同情况下均可发送报警短信, 正常报警。

5 结论

本文设计了一种光反射式非接触的液位传感模块, 并使用该传感模块作为数据采集部件设计制作了适合家用的水灾报警器。本系统创新地使用线性阵列光敏电阻作为光接收部件, 不仅提高了分辨率和精度, 而且降低了成本。经过实验证明本系统是一种适合家居使用的低成本、远程水灾报警系统。

参考文献

1. 刘志强, 孙玉晶. 声波检测技术在区域漏水检测中的应用 [J]. 供水技术, 2009, 3(1): 47-49.
2. 张峰. 磁浮子液位计的设计与安装 [J]. 仪表技术与传感器, 2001, 1: 42-43.
3. 宁如龙. 投入式扩散硅液位计工作原理 [J]. 自动化与仪器仪表, 2000, 4: 51-52.
4. 王红波, 陈希, 钱丽莎, 周嫫姣. 非接触式超声

波液位测量方法的研究 [J]. 福建电脑, 2011, 2: 11-12.

5. 高越. 光折射式非接触型液位监测装置及使用该装置的检测系统: 中国. CN 201600171 U [P]. 公告日期 2010. 10. 16.
6. 王伟强. 线阵 CCD 液位测量及光路设计研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2011. 3. 15.
7. 黄燕平, 裴丽, 简水生. 光纤液位传感器综述 [J]. 光通信技术, 1995, 2: 131-136.
8. 战洋. 可变电容式水位开关 [P]. 中国专利: CN 201869184 U [P]. 2011-06-15.
9. 孙清典, 李灿新, 程勇. 供水管路漏水报警监控装置的研究与设计 [J]. 水电能源科学, 2010, 28(10): 125-127.
10. 于洪波. 简论漏水报警系统 [D]. 北京: 国家图书馆防火中央控制室, 2006.
11. 李媛, 铁勇. 基于 LMS 算法的自来水漏水检测去噪算法研究 [J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2008, 39(2): 172-176.
12. 余祥其. 防漏安全锁定及漏水报警系统 [P]. 中国专利: CN202329950U. 2012-07-11.
13. AT 命令手册

电网对称故障时双馈感应发电机 不脱网运行下的仿真分析*

王玉珺;王双伟;樊星星

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 随着风能不断地被开发应用, 风电在供电系统中的比重稳步提升。针对大型风力发电机组发生故障时, 不脱网平稳运行, 应具有低电压穿越 (LVRT-low voltage ride through) 功能的实际要求, 建立Simulink仿真模型, 分析了电网发生对称故障时, 双馈感应风力发电机定子磁链变化过程、转子过电流的原因、电压降落程度及电网故障时长对双馈感应发电机的影响, 并给出仿真波形, 理论研究了两种常见的实现低电压穿越的技术手段(转子侧变流器法和转子撬棒保护法)及改进的控制策略, 分析和总结了各自的优缺点, 通过模拟仿真对转子侧变流器控制策略的可行性和有效性进行有效验证。

关键字: 低电压穿越技术; 双馈感应风力发电机; 转子侧变流器法; 转子撬棒保护法; Simulink仿真

System Simulation of a Doubly Fed Induction Generator Ride-through Control for Symmetrical Grid Fault

Wang Yujun; Wang Shuangwei; Fan Xingxing

(Instrument science and electrical engineering college, Ji Lin University, Changchun 130022)

Abstract: With the development and application of wind energy, the proportion of wind power in power system is rising steadily. It is required that when breaking down, the system should have the ability of low voltage ride through (LVRT - low voltage ride through), which ensures that wind turbines run smoothly without taking off the grid. This paper sets up the Simulink model, analyzes the changing process of the double-fed induction wind generator stator flux, the cause of over current in rotor, the influence of the voltage sag occurring time and the degree of voltage sag on the doubly-fed induction generator when the grid occurs the symmetrical fault. Study two kinds of common technical means of LVGT (the rotor side converter and the crowbar circuit) and the improved control strategy, of which respective advantages and disadvantages are analyzed and summarized. Finally, verify the correctness and feasibility of the rotor side converter control strategy through simulating.

Keywords: low voltage ride through doubly-fed induction generator the rotor side converter the crowbar circuit Simulink

0 前言

双馈异步风力发电机是一种绕线式感应发电机, 由于采用交流励磁, 可以根据电网电压、电流和发电机的转速来调节励磁电流, 精确的调节发电机输出电压, 使发电机和电力系统构成一个有机的

整体。这种灵活可控的特点使得该类发电机在各型风电场中得到广泛应用。但变频恒速双馈风力发电机, 在电网电压跌落的情况下, 会产生定子磁链直流分量, 容易在其转子侧产生过电流, 损坏变流设备和风电机组。在风电发展初期机组容量较小的时候, 为了保护转子侧的励磁装置及相关电力电子设

*指导教师: 孙淑琴

项目类型: 创新项目

备，一般采取与电网解列的方式，但目前风力发电机的容量都很大，与电网解列后会对电网的稳定性造成很大影响，因此国内外专家学者就提出了风力发电低电压穿越这个概念，即要求电网发生故障时，风电场须维持一定时间不脱网运行，并要求风电场在这样的过程中能提供一定无功以支持电网的电压恢复^[1]。电网中的故障类型分为对称性和非对称性，发生非对称故障时由于在定子电压中含有负序分量，而负序分量可以产生很高的滑差，使得功率和直流环节电压出现二倍频分量，同时转子过压与过流的现象也更加严重。但非对称故障在电力系统发生的频率并不高且分析过程相对复杂，故本文仅仅对发生对称故障的电网做过流过压分析。文献[2]分析了对称故障时定转子磁链、故障瞬间感应电压、转子侧电压的变化情况及转子电压最大幅值随电网电压跌落程度和DFIG运行转差率的关系；文献[3]分析了电网三相对称短路故障时发电机机端电压跌落到零的状态下的定、转子电流及不同转速、输出功率对定、转子过电流的影响；文献[4]研究了电网电压跌落状态下计及定子磁链动态过程的改进矢量控制，改进后电磁转矩和转子电流波动幅值减小，有效地抑制了故障时DFIG转子及转子侧变换器的过电流冲击，但其对直流环节电压的稳定帮助不大；文献[5]指出小值电压降落时采用磁链补偿及网侧变换器控制法实现低压穿越；文献[6]针对导致大幅度电压降落的电网三相短路故障下的DFIG机组动态响应进行了理论分析和仿真研究，提出Crowbar阻值和退出时间整定方法。以上文献均未提到电压跌落的程度及故障时长对DFIG转子电流影响，本文对其进行了研究，并介绍了两种常见的低电压穿越手段，针对转子侧变流器控制法做了具体的仿真设计，验证该策略的可行性和有效性。

1. 电网发生对称故障时的暂态分析

1.1 双馈电机定转子磁链及电压方程

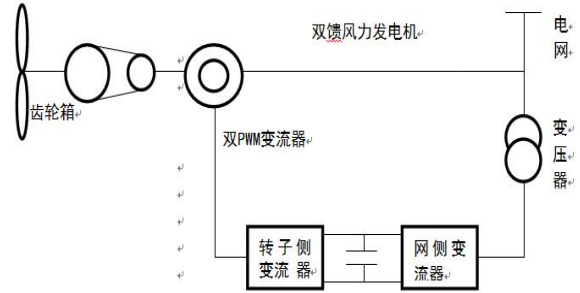


图1 双馈风力发电机结构

双馈感应风力发电系统结构如图1所示，发电机定子绕组直接与三相电网相连，转子通过一个AC/DC/AC部分负荷变流器（转子侧变流器为AC/DC转换，网侧变流器为DC/AC转换）与电网连接。双馈感应发电机在定子参考坐标系下的定转子磁链方程^[7]为

$$\begin{cases} \dot{y}_s = L_s i_s + L_m \dot{i}_r \\ \dot{y}_r = L_r i_r + L_m \dot{i}_s \end{cases} \quad (1)$$

式中： $L_s = L_m + L_{ls}$ ； $L_r = L_m + L_{lr}$ ； L_m, L_{ls}, L_{lr} 分别为互感和定转子漏感。

双馈感应发电机在定子参考坐标系下的定转子电压方程式为

$$\begin{cases} u_s = R_s i_s + p y_s \\ u_r = R_r i_r + p y_r - j \omega y_r \end{cases} \quad (2)$$

式中： u_s, u_r 分别为定、转子端电压矢量； R_s, R_r 分别为定、转子电阻； i_s, i_r 分别为定、转子绕组中的电流矢量； y_s, y_r 分别为定、转子磁链矢量； ω 为转子旋转角速度； p 为微分算子。

1.2 故障时定子磁链暂态分析

发生故障时，为便于分析假设转子开路，即 $i_r=0$ ，由式(1)的第一式和式(2)的第一式可得

$$\frac{dy_s}{dt} = u_s - \frac{R_s}{L_s} y_s \quad (3)$$

在故障发生瞬间，磁链不能突变，当外来条件迫使线圈的磁链发生突变时，线圈中会感应出一个反作用磁场的感应电流以保持磁链稳定不变。因此式(3)的解包括两部分：其一是以电网电压角频率 ω

旋转的定子磁链分量,其幅值取决于定子电压;其二是由定子压降所引起的定子磁链直流分量,此直流分量以定子时间常数 $\tau_s = L_s/R_s$ 衰减,稳态时该分量衰减为零。因此,式(3)的解可以写为

$$Y_s = Y_{s1} + Y_{sdc} = Y_{s1} + Ce^{-\frac{R_s t}{L_s}} \quad (4)$$

式中: Y_{s1} 为定子磁链旋转分量,其大小由当前的定子电压 u_s 确定; Y_{sdc} 为定子磁链直流分量,其初始值 C 由电网故障程度决定。

1. 3双馈风力发电机的转子电流分析

由式(2)可得

$$Y_r = \frac{L_m}{L_s} Y_s - s L_r i_r \quad (5)$$

将式(5)代入式(1)的第二式可得

$$i_r = \frac{u_r - L_m(pY_s - j\omega Y_s)/L_s}{R_r - (sL_r p - j\omega s L_r)} \quad (6)$$

由上式可知转子电流受转子电压和定子磁链两部分影响。转子电压和定子磁链旋转分量产生的转子电流称为转子电流励磁分量,其值在电网正常时根据输出功率和风速变化^[8];而定子磁链直流分量切割转子绕组产生转子电流旋转分量。故可知电网故障时转子电流由上述两个分量组成并共同作用(其中后者影响较大),造成转子过电流的现象。

2. 双馈发电机组低电压穿越策略及模型

2. 1转子侧变流器法

双馈感应风力发电机在电网发生三相对称短路故障时,会产生转子电流旋转分量和励磁分量。转子侧变流器法通过对转子稳态励磁电流的控制抵消定子磁链直流分量产生的转子电流旋转分量以抑制过电流的产生^[9]。其具体原理和设计方法如下:设三相转子电流为 i_{ra}, i_{rb}, i_{rc} , 将其进行d-q转换得到 i_{rd}, i_{rq} , 此时,转子电流励磁分量为直流量,转子电流旋转分量为交流量,使 i_{rd}, i_{rq} 分别经过低通滤波,

得到转子电流励磁分量 i_{rdac}, i_{rqdc} , 转子电流旋转分量为 $i_{rac} = i_r - i_{rdac}$, 为抵消定子磁链直流分量对转子电流的影响,只需在转子稳态励磁电流 i_{rd}, i_{rq} 上加入反向的 i_{rdac}, i_{rqac} , 即

$$\begin{cases} i_{2rd} = i_{rd} - i_{rdac} \\ i_{2rq} = i_{rq} - i_{rqac} \end{cases} \quad (7)$$

转子侧变流器法无需进行定子磁链估算,原理和算法相对简便,是一种较为理想的控制方法,但发生严重故障时,不能实现最好的低电压穿越过程。

2. 2转子撬棒保护法

转子撬棒保护法^[10-12]目前最常用的方法,它通过在双馈发电机转子端加入撬棒电路对电流进行控制。撬棒电路分为很多种,本文仅对其中较为常见的一种电路进行分析。

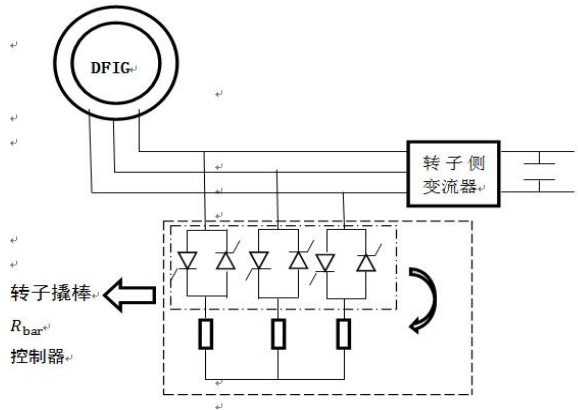


图2 撬棒电路

上图虚线框内为保护转子侧变流器设置的撬棒电路,其每相均由两个反相的晶闸管并联组成控制器再与电阻串联,然后和双馈电机各相相连并入电路。该电路中电阻R的选取至关重要,过大会导致变流器端电压过高,损坏设备;过小则不能有效限制过电流,起不到应有的效果。

具体操作如下:

当电网发生故障时接入撬棒电路进行限流,由于转子接入电阻R,使得定子的振荡电流瞬间衰减到零,从而抑制定子电流同时也减小了转子过电流的幅值。如果电压跌落时间较长,则断开撬棒电路并使系统运行在正常工作模式,电机即可在故障期间为电网提供无功功率^[13]。

转子撬棒保护法电路及操作简单,便于实现,并且

限制过电流的效果比较明显，故得到广泛应用。但在撬棒电路切换时将短接DFIG转子绕组，使其运行在并网大转差率笼型异步发电机状态，需从电网中吸取大量无功功率，导致电网不稳定。

3. 双馈电机模型仿真分析

基于对风力发电机的工作理论的研究，作者在Matlab上搭建了一个比较健全的风电系统模型，并对其进行一些低电压穿越方面的仿真分析。其中采用9MW(6*1.5MW)的双馈风力发电机；定子电阻、电抗分别为0.00824、0.185；转子电阻、电抗分别为0.006、0.175；励磁电抗为3.0；风速为恒速15m/s。

3.1 电网电压降落程度对转子电流的影响

对模型中的三相可编程电源进行数据改写，实现以下仿真结果

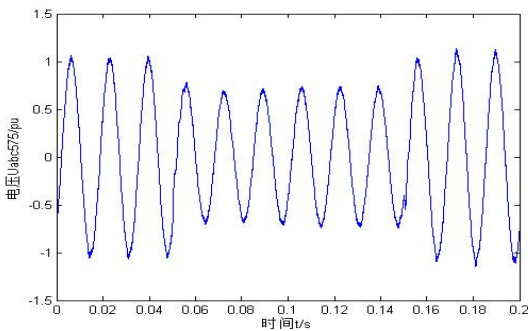


图3 (a) 60%压降575V母线电压

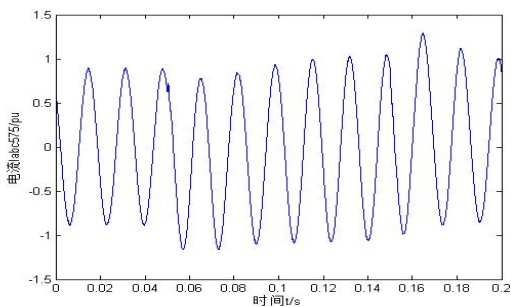


图3 (b) 60%压降575V母线电流

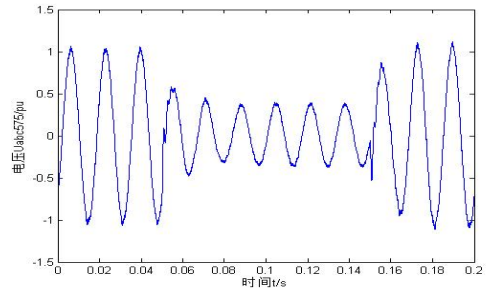


图3 (c) 20%压降575V母线电压

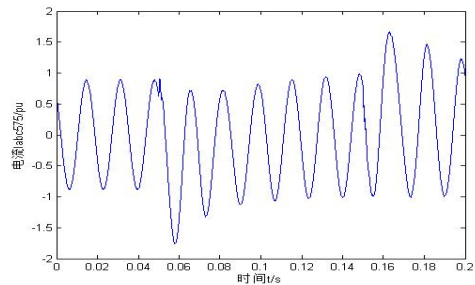


图3 (d) 20%压降575V母线电流

该仿真总时间为0.2秒，电压降落均发生在0.05s-0.15s，可以明显的看出在刚进入故障和故障消除的瞬间转子分别产生1.3倍和1.8倍的过电流，验证了上文故障暂态分析的结果；同时电压降落到20%所产生的过电流相比降落到60%的要大很多，说明电网故障程度越大，所造成的危害越大。

3.2 线路发生三相对称接地短路时对电机端电压、转子电流的影响

利用Simulink模型中的三相故障模块设置电网在0.4s时发生三相短路故障，到0.5s时故障消除，仿真起始时间为0，终止时间为2s。

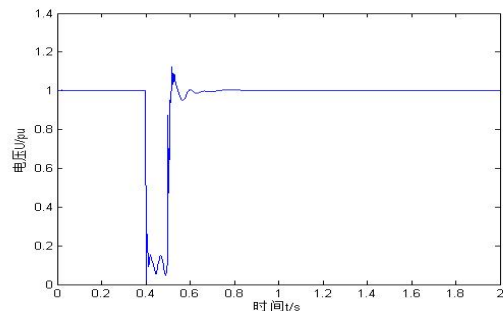


图4 (a) 双馈发电机输出电压波形

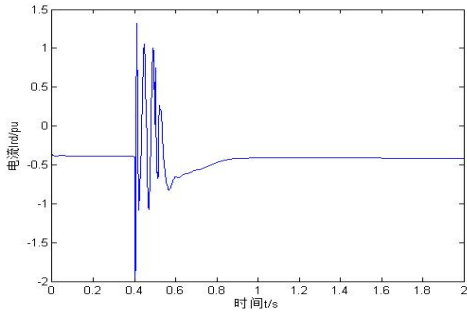


图4 (b) 双馈电机转子直轴电流波形

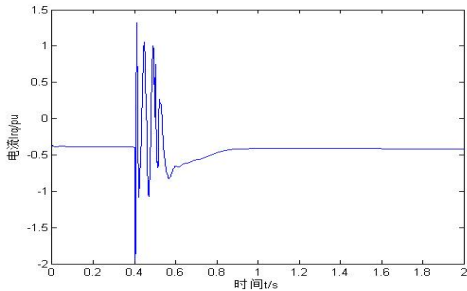


图4 (c) 双馈电机转子交轴电流波形

当发生三相短路瞬间，发电机出口电压迅速下降至0.1倍标么值，转子电流急剧上升，产生2倍过电流；在0.4s-0.5s故障期间，出口电压一直保持0.1倍标么电压的水平，转子电流整体处于衰减状态；故障解除后双馈电机电压电流逐渐恢复正常状态。这些现象均符合上文分析结果。

3. 3故障时长对双馈电机输出电压及转子电流的影响

通过改变三相故障模块的过渡时间项改变故障时长得到以下仿真图像

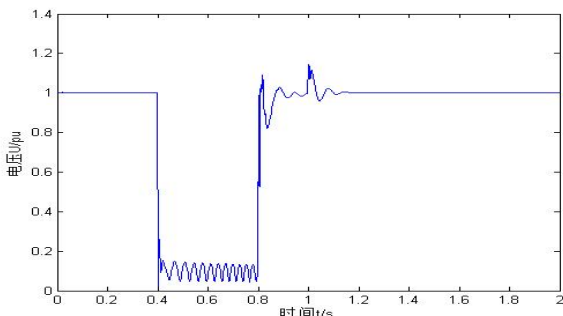


图5 0.4s-0.8s发生故障时输出电压波形

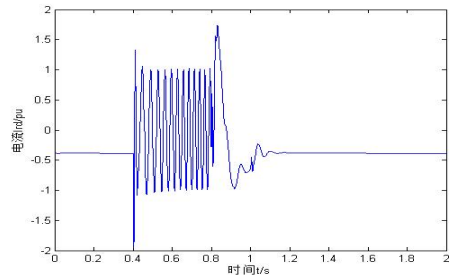


图6 0.4s-0.8s发生故障时转子直轴电流波形

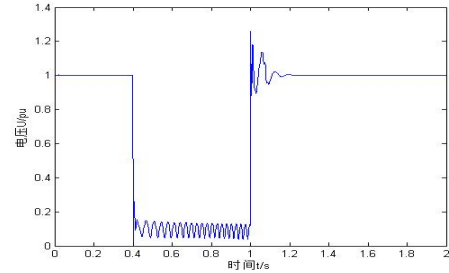


图7 0.4s-1.0s发生故障时输出电压波形

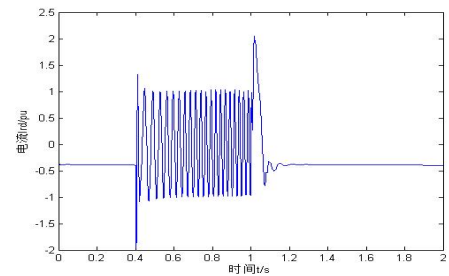


图8 0.4s-1.0s发生故障时转子直轴电流波形

将三个不同故障时长的输出电压和转子电流进行比较，易得出以下结论：①电压降落幅度基本不变，保持在0.1倍标么电压附近；②故障发生瞬间的过电流幅值基本不变，最大幅值均达到2倍标么；③随着故障时长的增加，故障结束瞬间会产生越来越大的过电流：0.4-0.6s发生故障，故障结束没有产生过电流，幅值在1倍标么电流左右；0.4-0.8s发生故障，故障结束产生过电流，幅值在1.7倍标么电流左右；0.4-1.0s发生故障，故障结束产生过电流，幅值在2倍标么电流。这是由于故障时长的增加使得电机系统处于故障下的电流电压状态的时间增加，当电网恢复正常是，能量变化大，暂态作用更加明显，使之产生较大的过电流过电压，对电网和电力

电子设备造成损害。所以要尽量减少故障时长，保证故障后迅速恢复正常状态，把危害降低到最小值。

3.4使用转子侧变流器法后的转子电流波形

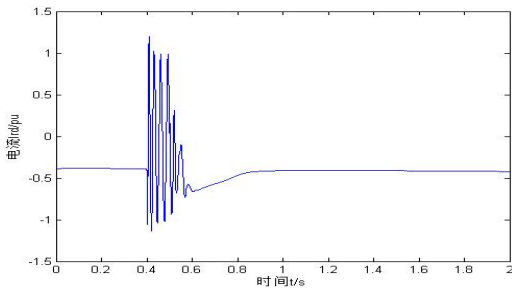


图9使用转子侧变流器法后转子直轴电流波形

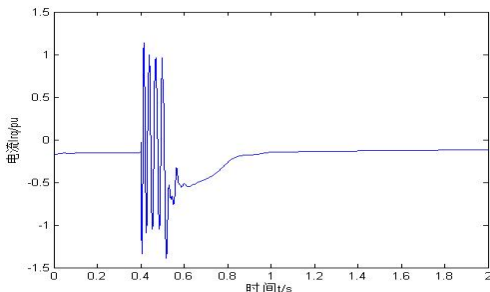


图10使用转子侧变流器法后转子交轴电流波形

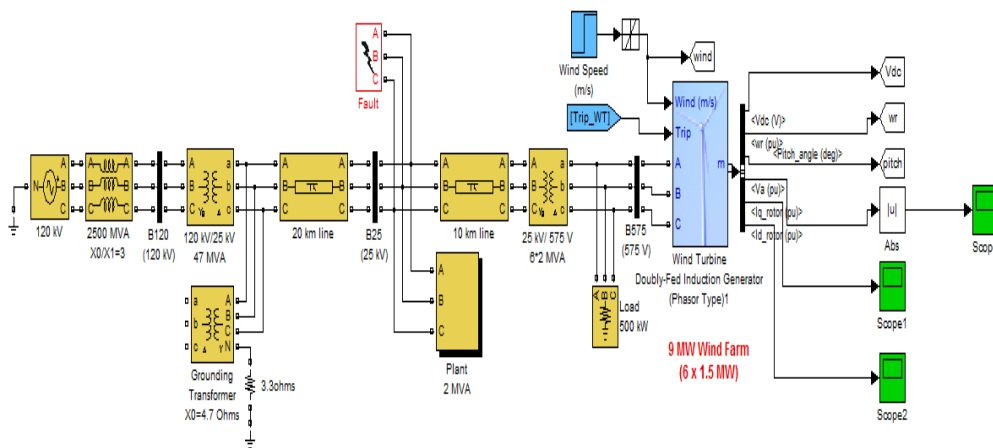
将图10, 9与图4(b) (c) 进行对比可以看出, 使用转子变流器法后过电流的幅值由2倍标么降为1.2倍标么左右, 实验结果表明该方法能够有效地降低双馈发电机产生的转子电流幅值, 故障解除时转子过电流情况也有明显改善但由于电压降落的程度较

大, 过电流幅值无法进一步的减小, 这是由于补偿的电, 流已无法满足风电机组与电网之间的能量转换。这既验证的该方法的有效性也反映出它的局限性, 在这种电网故障程度较大情况下, 建议采用撬棒保护法并辅以转子侧变流调节, 实现最好的调控保证电网的正常过渡。

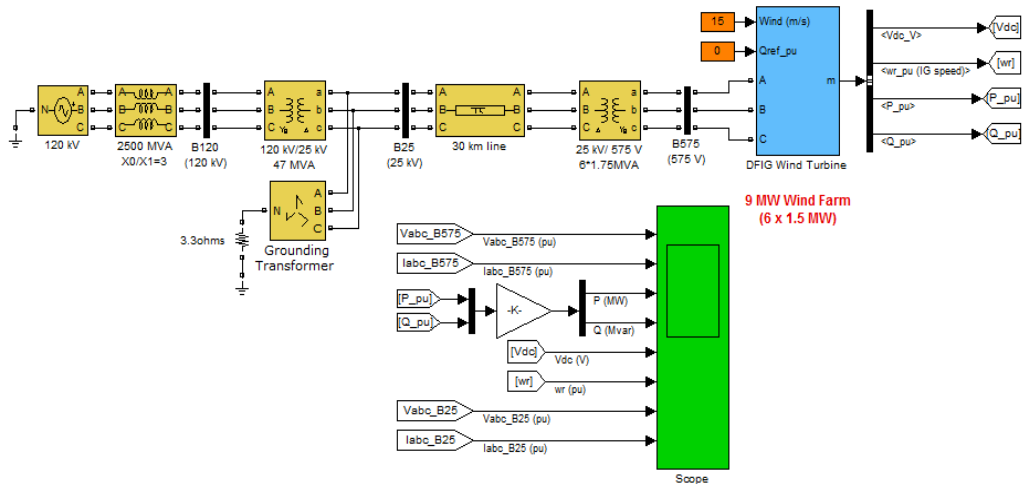
4 结论

本文介绍了低电压穿越技术的由来和面临的问题, 通过对电网故障时双馈风力发电机的暂态分析, 从本质上揭示了过电流产生的原因。从削弱定子励磁直流分量的角度介绍了两种常见的低电压穿越控制策略。在MATLAB中的Simulink平台上, 建立了双馈风电机组模型及其低电压穿越控制模型, 分析了电压跌落和三相对称短路时机组的运行特性, 结果证明电压跌落程度及故障时长对转子电流有很大影响, 验证了转子侧变流器法的正确性。风电技术的发展依靠于理论与实践, 理论中被验证的结果往往在实际中难以实现, 所以低电压穿越的研究要根据实际情况, 采用合理的方法, 来使电网在故障时能够保持不脱网的平稳运行状态。

5 附录



图A1 三相短路风电仿真系统图



图A2 电压降落风电仿真系统图

参考文献

- 赵璐璐, 谢桦, 乔颖. 风场低电压穿越能力优化设计[J]. 可再生能源. 2011年6月, 第29卷 第3期: 147-151.
- lopezJ,SanchisP,RoboamX,etal.Dynamic behavior of the doubly fed induction generator during three-phase voltage dips[J].IEEE Transactions on Energy Conversion,2007,22(3):709-717
- 向大为, 杨顺昌, 冉立. 电网对称故障时双馈感应发电机不脱网运行的系统仿真研究[J]. 中国电机工程学报. 2006年5月第26卷第(1)期:164-170.
- 胡家兵, 孙丹, 贺益康, 赵仁德. 电网电压骤降故障下双馈风力发电机建模与控制[J]. 电力系统自动化. 2006年4月25日第30卷 第8期:21-26.
- 张以宁. 双馈风力发电系统并网低电压穿越技术研究[D]. 北京. 北京交通大学. 2012年5月
- 孔宪国. 双馈风力发电系统的低电压穿越性能分析与优化研究 [D]. 北京. 华北电力大学. 2012年3月
- 蔚兰, 陈宇晨, 陈国呈, 吴国祥. 双馈感应风力发电机低电压穿越控制策略的理论分析与实验研究[J]. 电工技术学报. 2011年7月第26卷 第7期:45-50.
- 蔚兰, 陈国呈, 曹大鹏, 吴国祥. 电网对称故障时双馈感应发电机低电压穿越控制[J]. 电机与控制学报. 2010年7月第14卷 第7期:99-103.
- 林成武, 王凤翔, 姚兴佳. 变速恒频双馈风力发电机励磁控制技术研究[J]. 中国电机工程学报. 2003年第23卷 第11期:78-82.
- 程孟增, 窦真兰, 张建文, 蔡旭. 电压跌落时带有Crowbar电路的双馈感应发电机的瞬态分析[J]. 电网与清洁能源. 2012年5月第28卷 第5期:201-206.
- 廖勇, 李辉, 姚骏, 庄凯. 采用串联网侧变换器的双馈风电机组低电压过渡控制策略[J]. 中国电机工程学报. 2009年9月25日第29卷第27期:111-117.
- 王伟, 孙明冬, 朱晓东. 双馈式风力发电机低电压穿越技术分析[J]. 电力系统自动化. 2007年12月10日第31卷 第23期:67-73.
- 魏林君, 迟永宁, 赵建国, 王伟胜. 双馈变速风电机组低电压穿越控制[J]. 电网与清洁能源. 2009年2月第25卷 第2期:134-140.
- 于群, 曹娜. 电力系统建模与仿真[M]. 机械工业

出版社:322-355.

15. 王晶, 翁国庆, 张友兵. 电力系统的 MATLAB/SIMULINK 仿真与应用[M]. 西安电子科技大学出版社:314-352.
16. 张学广, 徐殿国, 李伟伟. 双馈风力发电机三相短路电流分析[J]. 电机与控制学报. 2008年第12卷 第5期:147-154.
17. 贺益康, 胡家兵, Lie XU(徐烈). 并网双馈异步风力发电机运行控制[M]. 中国电力出版社:224-230.

双馈异步风力发电转子侧 PWM 逆变器下垂控制策略研究*

樊星星 王双伟 王玉珺

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 针对双馈异步风力发电系统的运行特性, 与传统的交—直—交变换器系统相比, 采用双馈异步风力发电两电平电压型双 PWM 新型逆变器, 并对转子侧逆变器提出了下垂控制策略, 通过 matlab/simulink 搭建了风力发电系统中逆变器的仿真模型, 对双馈异步风力发电机转子侧电压、电流的谐波以及整流波形进行分析, 得出了电压矢量下垂型控制 PWM 变换器具有输出波形谐波少, 不含有高次谐波, 可获得单位功率因数的正弦输入电流, 实现了能量的双向流动; 与传统交直交变换器相比, 不含有与载波频率有关的谐波, 电压利用率较高。仿真结果验证了转子侧 PWM 逆变器下垂控制方案的可行性以及工程实用性。

关键词: 双馈异步风力发电; 逆变器; PWM; 下垂控制

中图分类号: TG156

文献标识码: A

Double-fed induction wind generator rotor side prolapse of PWM inverter control strategy research

Fan Xingxing ; Wang Shuangwei; Wang Yujun

(Instrument science and electrical engineering college, jilin university, changchun, 130022)

Abstract: Based on the running characteristics of doubly-fed asynchronous wind power generation system, and compared with the traditional cross - straight - to pay the converter system, this paper puts forward to a droop control strategy for the rotor side converter in order to maintain the stability of power grid voltage and frequency, which is applied to two level voltage type double PWM inverter of doubly-fed asynchronous wind power. In this paper, the principle of PWM inverter in the rotor side is introduced and by the way of sagging power control, inverter for wind power generation system model is simulated .Besides, this paper achieved the voltage and current harmonic analysis of the double-fed induction wind generator rotor side and the results analysis of the rectifier. Finally it is concluded that the simulation results and the PWM inverter control of the rotor side scheme is verified the feasibility.

Key words: Wind power; Inverter; PWM; Droop control.

0. 引言

风力发电系统当前主流的风力机组机型是双馈异步风力发电机, 其运行控制是通过转子侧交流励磁变换器控制来实现的^[1]。双馈异步风力发电系统并网运行时, 风力发电频率和电网频率要求保持一致, 即风电频率要求保持恒定。目前风力发电系统主要分为恒速恒频发电机系统 (CSCF 系统) 和

变速恒频发电机系统 (VSCF 系统)。如果在在风力发电过程中采取措施保持发电机的转速保持恒定以得到和电网频率一致的恒频电能则是恒速恒频发电机系统。这种系统一般所采用的发电机主要是同步发电机和鼠笼型感应发电机^[2]。而变速恒频发电机系统 (VSCF 系统) 则在风力发电过程中发电机的转速随风速是变化的, 通过采取其他的控制方式来得到和电网频率一致的恒频电能。并网逆变器是变频器的一部分, 处于异步风力发电系统中转子侧,

*指导教师: 孙淑琴

项目类型: 创新项目

在风力发电系统中对于保持系统电压频率的恒定必不可少。目前并网逆变器的研究主要集中于提高电网侧功率因数以及减少电流总谐波畸变 (THD), 解决变压器的大容量大功率控制问题, 以及要求逆变器有一定的电网故障适应能力, 以期实现电网故障下的穿越运行, 文献3主要介绍了一种有源逆变器输出的基础上采用开关函数法的前馈补偿控制加输出电压及滤波电感电流双环反馈方案, 但是逆变器输出电流谐波畸变较大; 文献4建立了单周期控制三相高功率因数并网逆变器的仿真模型, 主要对其原理进行了阐述; 文献5基于功率控制数学模型, 提出了电压型PWM 整流器直接功率前馈解耦控制新策略, 解决了有功功率和无功功率互为耦合问题。但是没有设计逆变器的功率控制。文献6用瞬时电流跟踪控制技, 来实现电流能够快速动态跟踪电网电压, 逆变电流波形保持正弦波, 电压效率较低。

针对以上问题及研究方向, 根据文献7、文献8中的微电网类功率下垂控制理论, 将微电网中逆变器的功率跟踪下垂控制策略应用到双馈异步风力发电系统中, 对控制策略通过仿真软件 Matlab/Simulink进行仿真研究, 希望可以实现风能的最大利用率和间歇性控制。本文主要围绕双馈异步风力发电系统中PWM变换器及其相关控制技术展开, 在传统交直交变换器的基础上搭建了两电平电压型双SPWM转子侧变换器的逆变技术以及逆变模型。对控制方法在系统设计与调试之前, 在 matlab/Simulink中对模型进行仿真与分析。验证了此控制策略的有效性与可行性。

1. 转子侧 PWM 逆变器的结构图与工作

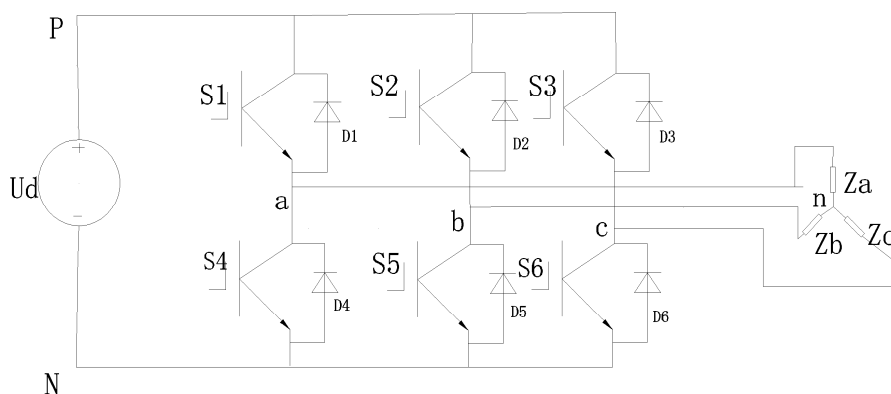


图 1. PWM 逆变电路主电路

Fig. 1 PWM Inverter main circuit

图 1 中的三相桥式逆变电路采用双极性控制方式, U、V 三相的 PWM 控制共用一个三角波载波, 三

原理

随着电力电子技术的飞速发展, PWM 控制技术在大功率逆变电路中应用十分广泛。如今风电机组的单机容量已经达到兆瓦级, 虽然其转子交流励磁只需要转差功率大小的容量, 但是大容量风电机组的变换器容量仍可以达到兆瓦级。图 1 是双 PWM 变换器转子侧的逆变电路结构, 如果把正弦波看成 N 个彼此相连的脉冲序列所组成的波形, 这些脉冲的宽度相等, 但幅值不相等, 而且脉冲顶部不是水平线, 各脉冲的幅值按正弦规律变化。像这种使脉冲宽度按正弦规律变化而和正弦波等效的技术为 SPWM 技术。按照正弦信号和三角波信号比较的方法对图 1 逆变桥中的 VT1-VT6 进行 SPWM 控制。就可以在逆变桥的直流输入端 AB 产生一个正弦调制波 U_{ab} , U_{ab} 中含有和正弦信同频率且幅值成比例的基波分量及和开关频率有关的高频谐波。适当的控制 U_{ab} 就可以使 A 相、B 相电流和电压同相, 达到功率因数为 1。同理可以控制 U_{ac} 和 U_{bc} , 使各电流和电压同相位。根据电路中直流侧电源性质的不同逆变电路分为电压型逆变电路和电流型逆变电路两种。

本文主要介绍电压型 PWM 逆变电路。如图 1, 三相逆变桥采用 Universal Bridge 模块中的 IGBT/diodes 三相桥, DC 为直流电源, RLC 为逆变电路的负载。

相的调制信号依次相差 120° 。载波信号为对称三角

波, 频率为 f_c , 调制信号为正弦波, 频率为 f_s 。各相的功率开关器件控制规律相同, 上下桥臂轮流导通, 以得到双极性的 PWM 波形。

2. 三相并网逆变器低频、高频数学模型

型

对三相滤波电感列写 KVL 方程, 可以得到三相并网逆变器在 ABC 静止坐标系下的状态方程:

$$\begin{bmatrix} L \frac{di_a}{dt} \\ L \frac{di_b}{dt} \\ L \frac{di_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R & 0 & 0 \\ 0 & -R & 0 \\ 0 & 0 & -R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$\alpha\beta$ 坐标系下低频逆变器的数学模型:

$$\begin{bmatrix} L \frac{di_d}{dt} \\ L \frac{di_q}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R & 0 \\ 0 & -R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_d \\ e_q \end{bmatrix} \quad (2)$$

PWM 变换器在 dq 坐标系下交流侧状态:

$$\begin{bmatrix} L \frac{di_d}{dt} \\ L \frac{di_q}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R & \omega L \\ \omega L & -R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_d \\ e_q \end{bmatrix} \quad (3)$$

三相并网逆变器在 ABC 静止坐标系下的数学模型状态变量表达式为:

$$\begin{bmatrix} L \frac{di_a}{dt} \\ L \frac{di_b}{dt} \\ L \frac{di_c}{dt} \\ C \frac{dv_D}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R & 0 & 0 & S_a - \frac{1}{3} V_D \sum_{k=a,b,c} S_k \\ 0 & -R & 0 & S_b - \frac{1}{3} V_D \sum_{k=a,b,c} S_k \\ 0 & 0 & -R & S_c - \frac{1}{3} V_D \sum_{k=a,b,c} S_k \\ -S_a & -S_b & -S_c & -\frac{1}{R_Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \\ v_D \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{R_Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \\ E \end{bmatrix} \quad (4)$$

三相坐标系下高频模型转换成两相静止坐标系下高频模型:

$$\begin{bmatrix} L \frac{di_\alpha}{dt} \\ L \frac{di_\beta}{dt} \\ C \frac{dv_D}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R & 0 & S_\alpha \\ 0 & -R & S_\beta \\ -S_\alpha & -S_\beta & -\frac{1}{R_Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ v_D \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{R_Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_\alpha \\ e_\beta \\ E \end{bmatrix} \quad (5)$$

三相并网逆变器在两相旋转系下的高频模型:

$$\begin{bmatrix} L \frac{di_d}{dt} \\ L \frac{di_q}{dt} \\ C \frac{dv_D}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R & \omega L & S_d \\ -\omega L & -R & S_q \\ -S_d & -S_q & -\frac{1}{R_Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ v_D \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{R_Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_d \\ e_q \\ E \end{bmatrix} \quad (6)$$

通过式 (1)~(6) 可以求出模型对应的量。采用开关函数描述的 PWM 整流器一般数学模型是对开关过程的精确描述, 因此非常适合于波形仿真。

3. 下垂控制原理与模型

本文将网络 PQ 下垂控制应用到风力发电机转子侧逆变器并联系统中, 结合 PQ 下垂控制方法, 来提高逆变器并联系统的整体性能。根据电力系统理论的下垂方法, 转子侧逆变器根据自身计算的有功、无功功率进行下垂控制, 同时通过网络通信线将自身的有功功率信号和无功功率信号传递给网侧逆变器, 网侧逆变器将自身的有功和无功功率信号与转子侧逆变器的功率信号加权平均后得到用于下垂控制的功率信号, 作为逆变器的控制触发脉冲信号。基于网络控制及 PQ 下垂控制的风力发电逆变器并联系统中, 由于网侧逆变器的功率控制信号与转子逆变器相关, 因此系统整体的均流度可与有内联线并联控制系统相近, 而当输电线路出现故障时却不会像有内联线并联控制系统那样并机失效, 逆变器仍可按照自身的功率下垂控制正常工作。风力发电系统中 PQ 网络控制的加入, 不仅可以改善逆变器并联系统的并机效果, 实现可与有内联线并联控制相近的并机均流效果。根据转子逆变器输出有功功率 P 和无功功率 Q , 采集自己的输出电流和电压, 使电源输出的有功功率和无功功率等于参考功率。如图 2 所示为下垂控制结构图; 图 3 为在 Matlab 仿真软件中搭建的下垂控制的模型图。

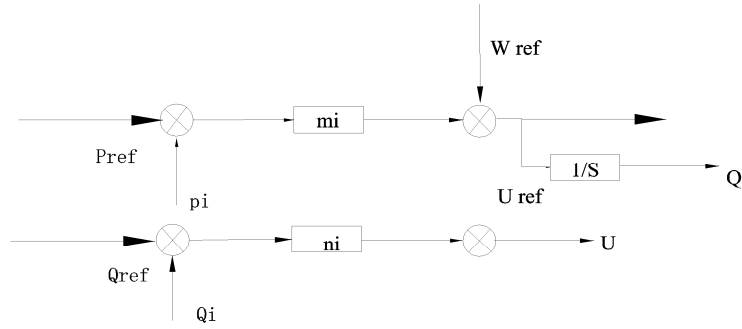


图 2. 下垂特性控制框图

Fig. 2. Droop control block diagram

根据 PQ 下垂控制策略，建立 MATLAB/SIMULINK 控制仿真模型如图 3。以节点电压和电流为输出信

号，通过有功功率和无功功率反馈，最终得到控制功率开关器件关断的触发脉冲。

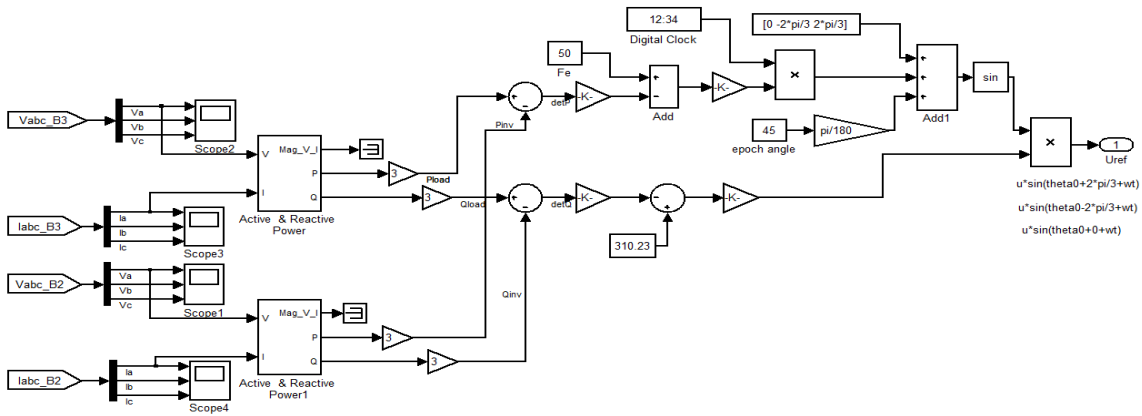


图 3. matlab 中下垂控制模型

Fig. 3. Droop control model in matlab

通过电网反馈的三相线电压和三相线电流得到有功功率 P 和无功功率 Q，从而形成功率跟踪控制，产生控制三相逆变器的触发脉冲信号，实现对逆变器的下垂控制。

仿真参数为：电网电压 1000v， $f_s=50\text{Hz}$ ，负载为三相接地负载 50 kW，380 V rms，50 Hz；仿真时间从零时刻开始，为了观察到清楚的波形，仿真时长设置为 0.08s。图 4 为仿真模型系统框图。

4. 三相 PWM 逆变器的仿真分析

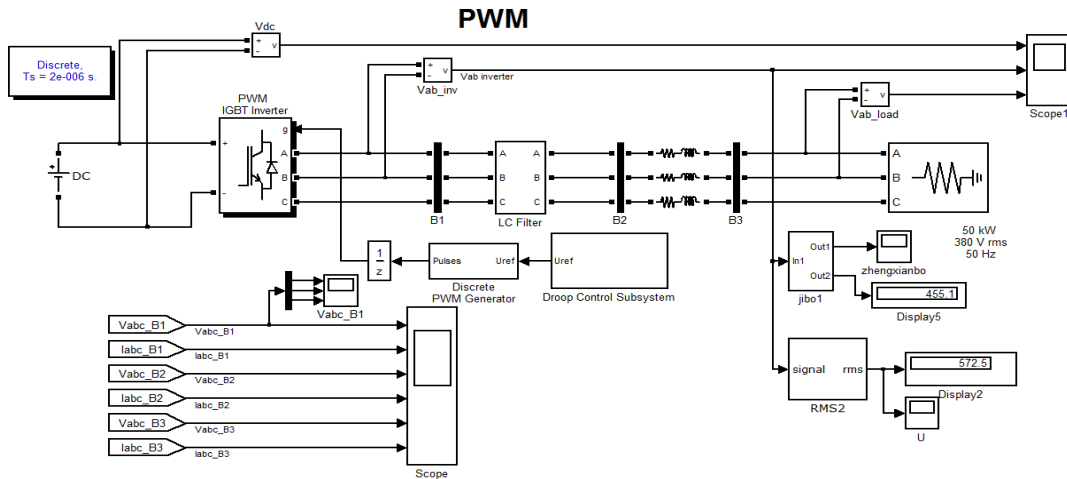


图 4. 逆变器系统模型图

Fig. 4. Inverter system model diagram

三相桥式 PWM 逆变电路可以使输出电压、电流接近正弦波，满足风力发电并网型逆变器需要，传统逆变器由于使用载波对正弦信号波调制，也产生了与载波有关的谐波分量。这些谐波分量的频率和幅值是衡量 PWM 逆变电路性能的重要指标之一，因

此有必要对 PWM 波形进行谐波分析。通过用 powergui 模块中 FFT 频谱分析仪对输出线电压波形以及输出正弦波波形进行谐波分析，设定基本频率为 50Hz，从零时刻开始分析输出波形，结果如图 5 所示。

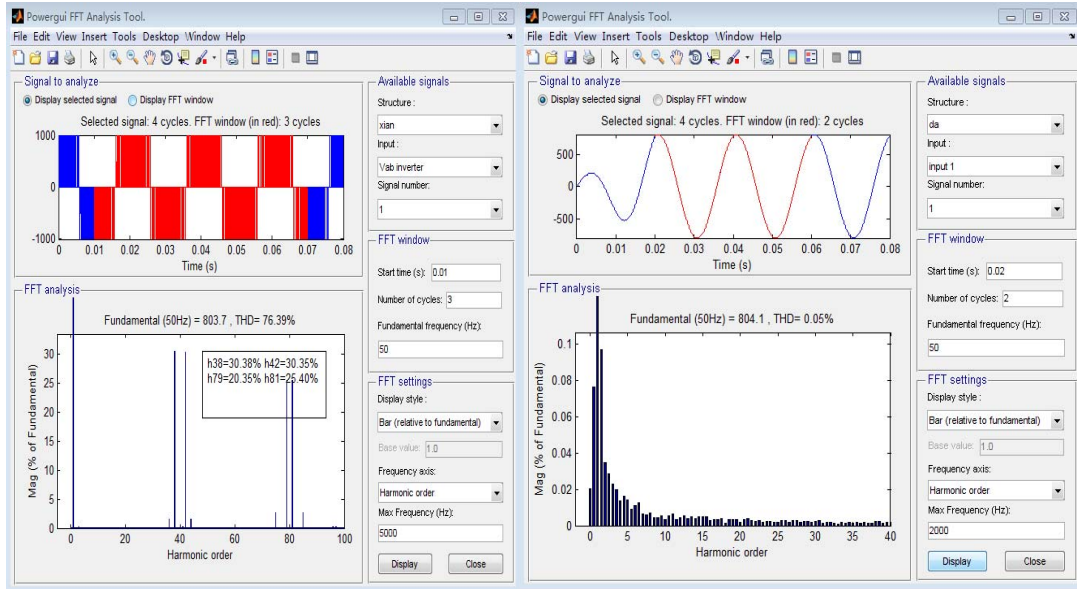
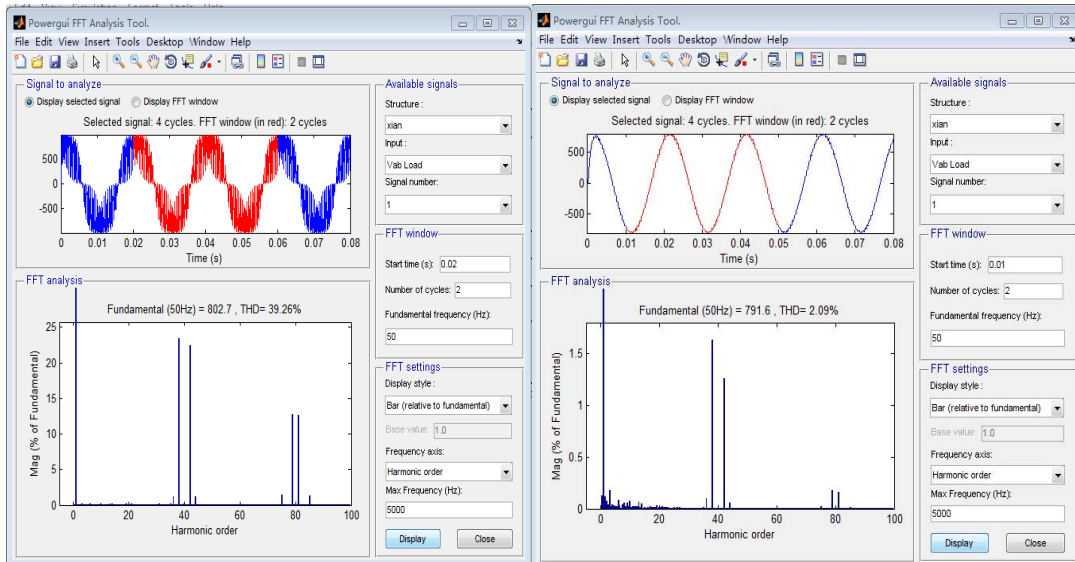


图 5 逆变器交流侧输出线电压波形和正弦波形

Fig. 5 Inverter output ac line voltage waveform and sine waveform

由图 5 可以看出输出线电压波形不含低次谐波，谐波较大的是 38 次、42 次，79 次和 81 次谐波，

通过加低通滤波器，可以将谐波滤除。输出正弦波含有低次谐波，不含有高次谐波。



(1) 未滤波负载电压波形

(2) 滤波后负载电压波形

图 6 负载波形及谐波分析

Fig. 6 Load waveform and harmonic analysis

图 6 是逆变器输出负载电压波形，由图 6 (1) 可以看出，负载电压波形含有 38 次，42 次谐波，其中 79 次，81 次谐波较小，通过在电路中串联 LC 滤波器可以使负载电压波形更加正弦化。图 6 (2)

表示在双馈风力发电系统中通常控制逆变器工作于单位功率因数下，即使得逆变器输出电压与电流用相位，从而避免交流电网谐波污染。图 7 是逆变器仿真输出的线电压线电流波形。

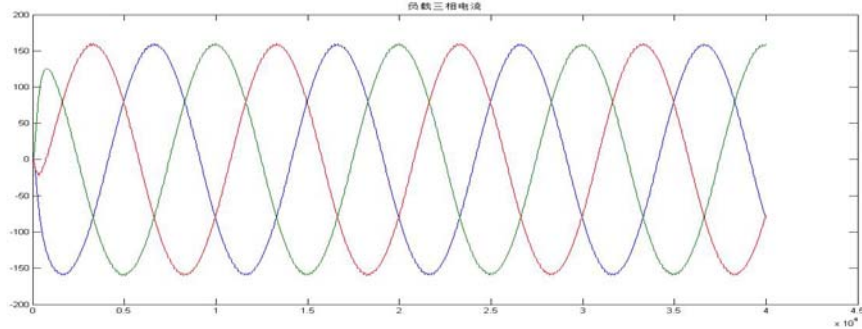


图 7 逆变器输出线电压

Fig. 7 Inverter output line voltage

由图 7 可以看到逆变器输出电压有良好的波形，而且功率因数为 1，交流侧的电压和电流反相位，能量反向流动，电流波形为正弦波形，说明 PWM 整流器具有能量双向流动的功能，满足交流

励磁变速恒频风力发电机的要求。在逆变器工作过程中，各节点电压必须在要求的电压质量范围之内，从而保证电网正常运行，且减少谐波和波形畸变率。如图 8，为转子侧逆变器右侧各节点电压波形。

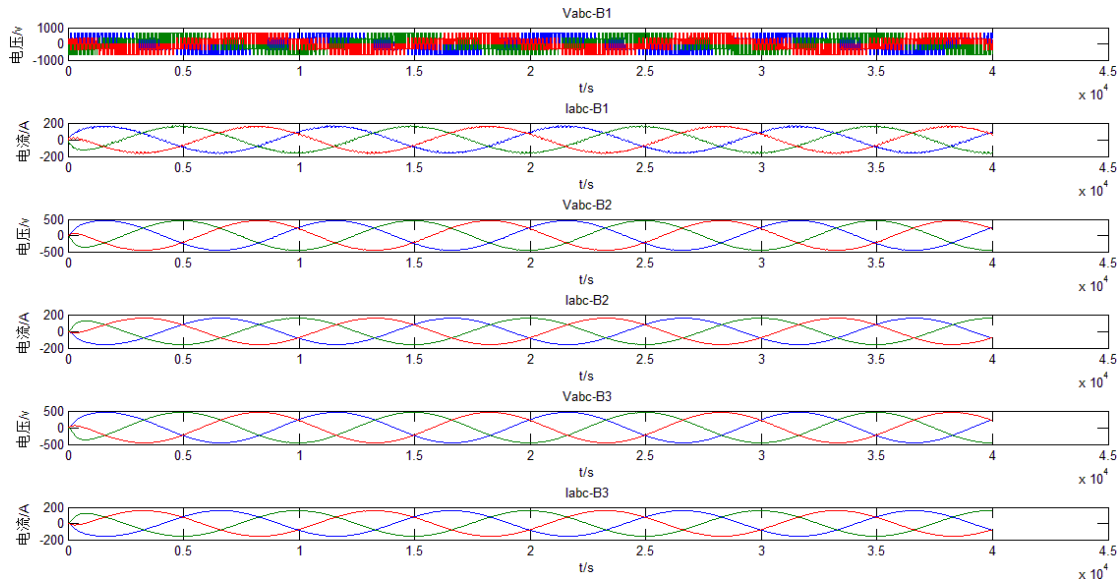


图 8 电路各节点线电压和线电流

Figure .8 Each node circuit line voltage and line current

由图 8 可以看出，线路各节点电压的线电流和线电压波形接近正弦化，且频率稳定，电压与电流相位同步，说明采用功率下垂控制的逆变器在电路中工作正常，而且各个节点电压质量较高。

5. 结语

在风力发电系统中通常采用 SPWM 逆变控制技术，可以使电压电流谐波减少，从而减少谐波污染，具有广泛的应用前景。不可控逆变器具有简单可靠，技术成熟的特点，在线性调制区里，其直流电压利用率为较低，因此逆变器输出有时会达不到负载电压的要求。而本文提出的电压矢量下垂型控制 PWM 变换器具有输出波形谐波少，不含有高次谐波，获

得单位功率因数的正弦输入电流，实现能量的双向流动的优点；以及与传统交直交变换器相比，不含有与载波频率有关的谐波，电压利用率较高。通过 matlab/simulink 对整个系统的建模，仿真和试验波形分析，证实了研究控制方案的正确性和可行性，以及两电平电压型双 PWM 变换器未来具有潜力的发展方向。

参考文献

1. 贺益康, 胡家兵, 徐烈. 并网双馈异步风力发电机运行控制[M]. 中国电力出版社, 2012.
2. 王承煦, 张源. 风力发电 [M]. 中国电力出版

- 社, 2003.
3. 赵艳磊, 胡希同, 宋扬. PWM 逆变器的建模与双环控制策略. [C]. 2008, 2145-2149.
 4. 杨志强, 宋平岗. 基于 Matlab 的单周期控制三相大功率因数并网逆变器的建模与仿真[J] 大功率变流技术, 2009-02: 18-21.
 5. 王久和, 杨微, 李华德. 功率前馈电压型 PWM 整流器直接功率解耦控制 [J] 辽宁工程技术大学学报, 2007-04, 26 (2): 238-241.
 6. 王翠娟, 赵巧娥, 张强. 风力发电并网逆变器的研究[J] 电力学报, 2010, 25 (5): 388-390.
 7. 张纯江, 王晓寰, 薛海芬. 微网中三相逆变器类功率下垂控制和并联系统小信号建模与分析[J] 电工技术学报, 2012-1, 27 (1): 32-39.
 8. 李明娟, 林飞. 微电网中并网逆变器控制研究 [D]. 北京交通大学, 2009.
 9. 徐颖剑. 交直交风力发电系统建模与仿真研究 [J] 电气开关, 2011-10: 25-29.
 10. 张希良. 风能开发利用 [M]. 化学工业出版社, 2005.
 11. 施刚, 胡东, 蔡旭. 永磁直驱风力发电机变流系统的谐波分析 [J]. 电机与控制应用, 2012-4, 36(5): 32-38.
 12. 张照彦, 马永光. 双馈异步风力发电机建模与仿真研究[J]. 电力科学与工程, 2010-01, 26 (1): 5-9.
 13. 王兆安, 刘进军. 电力电子技术[M]. 5 版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
 14. Kawamura A, Chuarayapratip R, Haneyoshi T. Deadbeat control of PWM inverter with modified pulse patterns for uninterruptible power supply [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1988, 35(2): 295-300.
 15. 洪乃刚, 电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006
 16. 谢秋月, 黄守道, 高剑. 风力发电整流器控制策略的研究[J]. 微计算机信息, 2009, (7) .
 17. 邱涛, 陈林康. 变频器中 PWM 整流器的设计及仿真 [J]. 太原理工大学学报, 2008-05, 39 (5): 311-314.
 18. 张照彦, 马永光. 双馈异步风力发电机建模与仿真研究[J]. 电力科学与工程, 2010-01, 26 (1): 5-8.
 19. 董琳琅, 王永. 1MW 直驱风力发电系统建模与仿真研究. 2011. 6

SVC 型静止无功补偿器的响应特性测试*

李想；崔建磊；吕晗

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要： 由于现在国家大力提倡清洁能源，清洁能源发电显得越来越必要。但由于清洁能源的不稳定性，会导致很多问题；其中最严重的是无功功率不足和电压不稳定，解决方法是无功功率补偿。电网一般均配备一定容量的动态无功补偿装置。为了选择性能合适的无功补偿装置，需要对其响应特性做测试。本文介绍一种基于虚拟仪器技术，利用 LabVIEW 可视化编程软件，将电网信号通过硬件信号调理电路处理后再通过 PXI 数据采集平台采集进入 PC 机，使用 LabVIEW 软件编写的数据分析处理程序，建立一个动态无功补偿装置响应时间测试系统，实现对 MCR 型 SVC 无功补偿装置响应特性时间的测试，得到其响应时间特性。

关键词： 无功功率补偿 无功补偿装置 LabVIEW PXI 数据采集卡 响应时间特性

The test of response character of static reactive power compensator SVC

Li Xiang; Cui Jianlei; Lv Han

(Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Nowadays because of the national vigorously promoting clean energy, clean energy is becoming more and more necessary. because of the uncertainty of clean energy, it will cause a lot of problems; One of the most serious is a lack of reactive power and unstable of the voltage . the solution is to reactive power compensation. Farm is equipped with a dynamic reactive power compensation device of a certain capacity. In order to select an appropriate reactive power compensation device, it need to test response characteristics for it. This paper introduces a technology based on virtual instrument, using the LabVIEW software in the PC to create a dynamic reactive power compensation device response characteristic test system, realizing the test of reactive power compensation device SVC response time ,obtaining the response time characteristic.

Key words: Reactive power compensation Reactive power compensation device LabVIEW PXI data acquisition card The response time characteristic

无功电流曲线，也实现了响应时间的测试。

0 前言

本课题在掌握虚拟仪器技术及 LabVIEW 编程的基础上，根据所需采集的实际电压电流信号来源，选用合适的计算方法，根据设计目的编程对其进行正确的运算，得到所希望的无功补偿装置的响应时间特性。本课题研究设计完成了信号调理电路的 PCB 板设计制作，通过 PXI 数据采集平台，在 LabVIEW 开发环境下实现了数据的处理、计算、分析以及电压电流波形的实时显示，得到了所期望的无功功率、

1. 静态无功补偿装置的响应特性介绍

无功补偿装置的响应特性，主要为动态无功补偿装置的响应时间特性。在正常的电网中，补偿装置的无功功率及电流曲线一般为近似的直线，当曲线陡然下降或者慢慢下降到不正常时，我们就可以断定电网已经处于不稳定状态，并且无功功率或电流不足；此时需要运行动态无功补偿装置，向电网中注入无功功率，在注入无功功率的时候，无功电流曲线也会慢慢的回到原来的正常水平。在这个过

*指导教师：张秉仁

项目类型：创新项目

程中，我们就可以得到动态无功补偿装置的响应时间。其中补偿加入点和到达正常点 90%的时间即为动态响应时间^[1]。

2 无功补偿的相关知识

2.1 无功补偿的原理及意义

2.1.1 无功补偿的原理

供电系统在正常运行时，各节点的电压幅值会随着运行方式变化发生改变，偏离系统电压额定值。电力系统无功功率不平衡意味着有大量的无功功率流经供电线路和变压器，由于线路和变压器中存在阻抗，造成线路和变压器首末端电压出现差值，是引起系统电压偏离标称值的根本原因。实验证明，无功补偿后电压波动变小，从整体上提高了系统的电压水平。因此，电力系统应有足够的无功功率电源来满足电力网和荷端电压水平及经济运行要求^[2]。

2.1.2 无功补偿的意义

在电力系统运行时，线路中流动的无功功率和节点实时电压是一对密切相关的量，无功功率不足和超额都会影响电网节点的电压稳定和电力系统运行的安全。补偿无功功率，对电力系统的益处主要由以下几点：

(1) 可以改善电能质量，保证电网稳定。

(2) 减少了系统线路中无功功率的流动，当总视在功率一定时，系统所输送的有功功率占比会相对增加。

(3) 系统线路中所流动的无功功率的降低能够提到系统的功率因数，在设计发、供电设备时，其设计容量也会相对减少，进而减少投入，降低成本。

(4) 可以降低线路损耗^[3]。

2.2 静态无功补偿装置原理

补偿装置的命名，主要是根据其自动控制的实现手段，由于每一种补偿装置自动控制实现手段的不同，补偿无功的原理也不一样。由于本项目做的是 MCR 型 SVC，下面只介绍此种补偿装置的工作原理。

MCR 型 SVC 通过 MCR 本体和各个电容器组实现无功实时调节，其电气结构如图 2-1 所示。其中 MCR 本体通过控制可控硅的导通角来控制直流激磁，进而控制铁心的饱和程度。铁心的饱和程度越高，MCR 的电感越小；反之，则 MCR 的电感越

大。通过改变铁心的饱和程度可达到平滑调节感性无功功率输出的目的。主控制器根据系统电压电流算出实时无功，并根据“小范围无功调节角度，大范围无功投切电容”的原则来实现对系统的无功补偿^[4]。

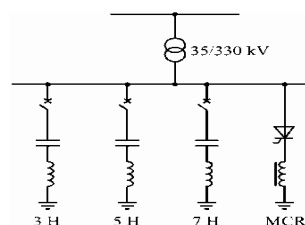


图 2-1 MCR 电气结构图

Fig.2-1 MCR electrical diagram

2.3 PXI 平台及数据采集卡简介

PXI 是一种坚固且基于 PC 的平台，适用于测量和自动化系统。控制器有具备微软 Windows 操作系统或实时操作系统（NI LabVIEW 实时）的高性能嵌入式控制器，以及台式机、工作站、服务器或笔记本电脑控制的远程控制器；模块包含 450 多种功能，最大限度的方便用户的各种编程需求。本课题选用的是 2 块 8 通道的 PXIe-4300 数据采集卡，在 PXI 平台上完成 12 通道数据同步采集。PXIe-4300 数据采集卡具有 8 路同步采样的模拟输入通道，最高采样速率达到 250Ks/s，具有位 24 位分辨率。本系统通过 DAQ 助手将采样速率定为 2000Hz，方式为连续采样，采样点数为 2000，最大输入电压幅值为 10V。

3 系统总设计思路及硬件电路设计

3.1 系统总设计思路

本课题研究无功补偿装置的工作原理及其响应特性，电网信号先经由无功补偿装置后，再经过互感器的采集得到输入小信号，此小信号经过滤波、隔直以及放大处理后，经过保护装置由 PXI 数据采集系统采集处理进入计算机系统，最后由 LABVIEW 软件处理得到无功补偿装置的响应特性，主要为动态无功补偿装置的响应时间特性。本项目的虚拟仪器是指基于计算机的测控平台，它可以代替传统的测控仪器，如示波器、信号发生器等，可集成于自动控制、工业控制系统；可自由构建成专有仪器系统^[5]。系统总的研究框图如下 3-1 所示

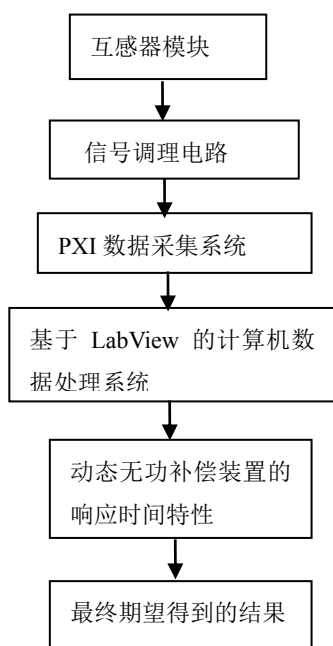


图 3-1 系统研究总框图

Fig.3-1 The total block diagram of system research

A. 无功补偿装置二次侧实时采集数据：无功补偿装置不限于某一种，应该具有通用性，本项目以 MCR 为典型测试分析装置。

B. 互感器模块：将电网电压电流安全的转换为实验测试可用的低电压电流。

C. 信号调理电路：对输入的电压电流信号进行滤波、放大、隔直、保护等处理过程，使其较为接近理论使用信号。

D. PXI 数据采集系统：信号采集部分，具体使用 PXI 平台提供接口来实现，进行信号采集。

E. LabVIEW 计算机分析控制模块：由 Labview 软件实现，对采入的基本信号按照理论公式进行计算处理并生成所要求对应的曲线图、参数分析表。

3.2 互感器的选择

如前文所述，输入电压互感器的额定电压值为 100V，输入电流互感器的额定电流为 5A/1A，因此根据此参数，选用 CHG-100VA 电压互感器和 CHG-500M 以及 CHG-1000M 电流互感器。所选用互感器的基本电气参数如下表 3-1、表 3-2 和表 3-3 所示。

由其电气参数可知，该型号的互感器工作频率固定且正好为工频 50HZ，精度很高达到 0.2%，线性度也很好。另外，互感器的测量范围也较其额定电压要高出一定的值，这样便可以满足电网波动时正常工作的要求。该型号的互感器的绝缘电压都很高，都达到千伏级别，具有很好的电气隔离性能，因此可以免去隔离电路的设计，直接将互感器的输

出端接至信号调理电路的输入端。图 3-2 为电压互感器的接线图，图 3-3 为电流互感器接线图。

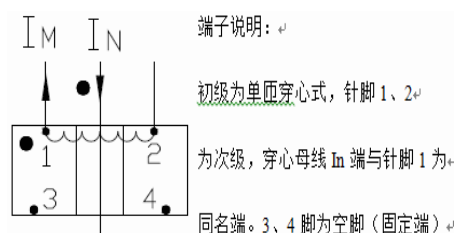


图 3-2 电流互感器接线图及端子说明

Fig.3-2 Current transformer wiring diagram and the terminal

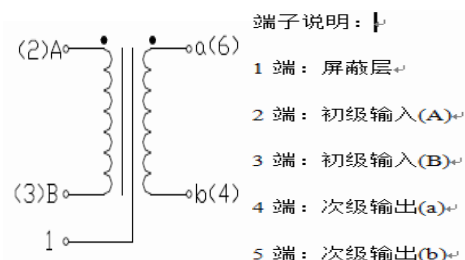


图 3-3 电压互感器接线图及端子说明

Fig.3-3 Wiring diagram and the terminal voltage transformer

表 3-1 电压互感器基本电气参数

Table 3-1 The voltage transformer basic electrical parameters

型号	额定电压	频率	输出电压	精度	绝缘电压	线性度	测量范围
CHG-100V A	100 V	50Hz	5 V	0.2 %	2.5K V	0.2 %	120 V

表 3-2 电流互感器 CHG-500M 基本电气参数

Table 3-2 Current transformer CHG - 500 - m basic electrical parameters

型号	额定电流	频率	输出电流	精度	绝缘电压	线性度	测量范围
CHG-500M	1A	50Hz	2mA	0.2%	2KV	0.3%	2A

表 3-3 电流互感器 CHG-1000M 基本电气参数

Table 3-3 Current transformer CHG - 1000 - m basic electrical parameters

型号	额定电流	频率	输出电压	精度	绝缘电压	线性度	测量范围
CHG-1000M	5A	50Hz	5mV	0.2%	2KV	0.2%	10A

3.3 信号调理电路的设计制作

3.3.1 电压信号滤波器模块

电压信号滤波电路的电路选用二阶压控电压源型低通滤波器，电路示意图如下图 3-4 所示。

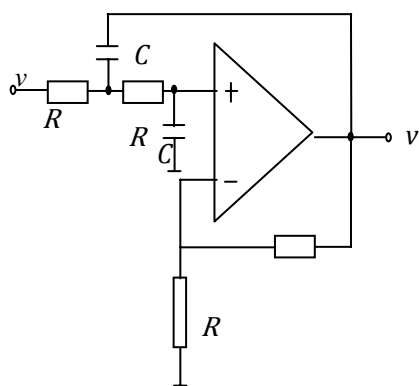


图 3-4 二阶压控电压源型 LPF

Fig.3-4 The second order type voltage-controlled voltage source

LPF

其中各个元器件的参数如表 3-4 所示

表 3-4 电压信号滤波器参数

Table 3-4 Voltage signal filter parameters

R1	R2	R3	R4	C1	C2
7.5K	15.0 K	47.0 K	47.0 K	10nF	10nF

3.3.2 电流信号滤波器模块

电流信号滤波器采用无限增益多路反馈低通滤波器，其原理图如下 3-5 所示，

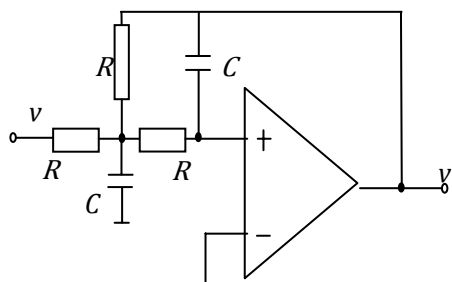


图 3-5 无限增益多路反馈低通滤波器

Fig.3-5 Infinite gain multiple feedback low-pass filter

3.3.3 隔直电路模块

在实际的电网输出信号中，一般会存在一定的直流成分，因此信号调理电路中应包括去直流电路。根据之前的经验，本课题选用一个简单合理、适用性强的去隔直偏移的电路。其原理如下图 3-6 所示

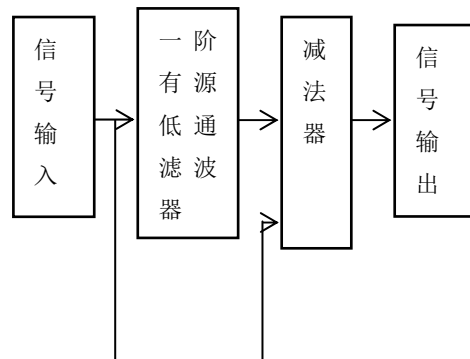


图 3-6 隔直流电路原理

Fig.3-6 Dc isolation principle

3.4.4 放大电路模块

经过隔直电路之后的交流电流信号比较小，需要将其放大，以便输入 PXI 供数据采集。该放大电路选用 LF353 运放芯片，采用两级放大，放大倍数可实现可调。放大电路如图 3-7 所示

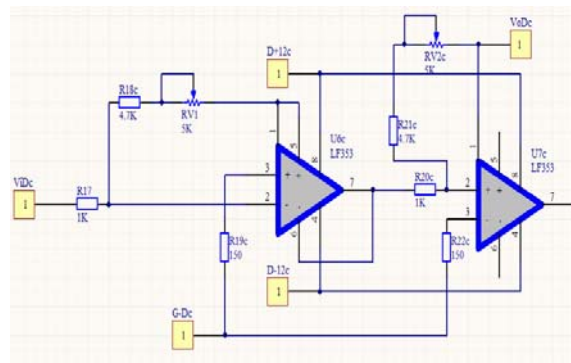


图 3-7 放大器电路原理图

Fig.3-7 Amplifier circuit principle diagram

4 系统软件设计

本章将介绍本课题最核心的软件设计部分。软件编程是在 LabVIEW2011 开发环境中实现的。

4.1 软件设计

4.1.1 软件总体流程设计如图 4-1

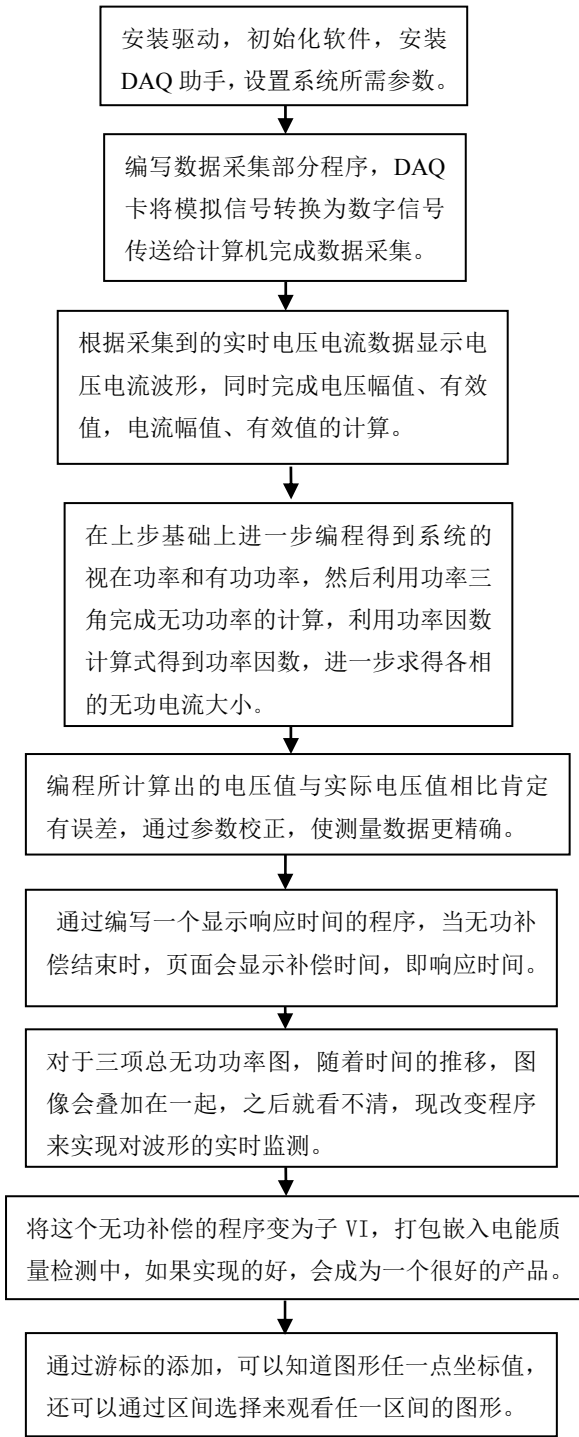


图 4-1 软件总体流程设计图

Fig.4-1 Software process design

4.1.2 信号采集模块

当需要利用 LabVIEW 程序分析处理 PC 机外部输入的信号时，我们首先得安装 LabVIEW 驱动程序，驱动安装成功后，在函数选板中会出现 DAQ 助手模块如图 4-2 所示，信号由外部被采集进入程序内就是通过 DAQ 助手模块实现的。信号采集模块程序如下图 4-3 所示，程序中，我们首先得设置

并选择 DAQmx 任务名，通过 DAQ 助手我们可以建立电压采集任务，选择该任务即完成数据的读入。



图 4-2 DAQ 助手示意图

Fig.4-2 DAQ assistant sketch

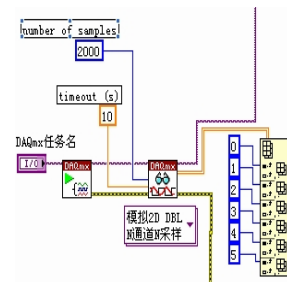


图 4-3 信号采集部分程序图


Fig.4-3 Signal acquisition part program chart

DAQ 将数据采集读取出来后，输出的数据为一个 n 维数组，该数组就是实时电压电流信号。该数组再通过 LabVIEW 中的索引数组模块，将电压和电流信号分开。至此，电网中的电压电流信号就这样被采集并输入到了 LabVIEW 程序中，然后就可以进行下面的数据处理了。

4.1.3 幅值有效值计算模块

此模块的功能是计算幅值及有效。

方法如下：根据采集进来的电压电流信号，利

用 LabVIEW 中的幅值和电平测量模块  可以很准确的得到各相电压电流的幅值，然后利用自己所编写的一个有效值计算子 VI 如图 4-4，进一步对幅值进行运算得到各相电压电流的有效，此方法可以比较精确的得到所需数据。

变量：电压、电流的幅值及有效值随采集进来的电压、电流信号的变化而变化。

结构：如图 4-4 及 4-5 所示。

数据：由图中的输出可以读出所需数据。

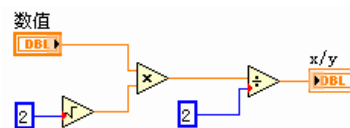


图 4-4 有效值子 VI 程序

Fig.4-4 RMS subvi program

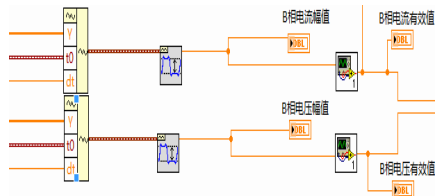


图 4-5 幅值有效值计算部分程序

Fig 4-5 Amplitude RMS calculation part of the program

4. 1. 4 有功功率计算模块

此模块的功能是有功功率的计算。

方法：此方法用了两个 for 循环，通过采取多组数据求平均值的方法得到有功功率，由于用了两次 for 循环，而且采取多组数据求得，因此所得结果误差大大降低。

变量：这里的输入为电压电流的有效值，它随采集的电压、电流信号的改变而改变。

数据：从图中的输出可以得到所需数据。

结构：结构如图 4-6 所示。

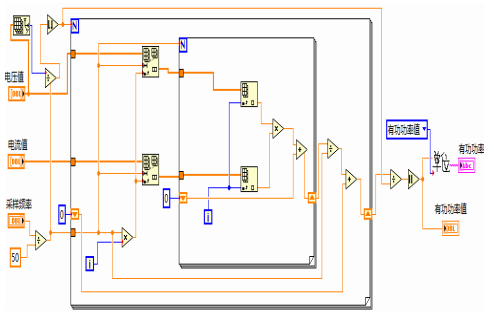


图 4-6 有功功率计算部分程序

Fig 4-6 Active power calculation part of the program

电压和电流值计入循环中后，经过一定的运算后得到的输出去绝对值后就是有功功率输出。

4. 2 参数的计算方法

此模块的功能是参数的计算。

方法：在得到了电压电流的幅值后，根据视在功率的计算式 $S = UI$ ，能够得到电网视在功率；然后无功功率的计算式是 $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ ，因此又得到电网的无功功率；知道了有功功率 P 和视在功率 S 后，根据功率因数的计算式 $\cos \varphi = P/S$ ，我们可以得到功率角 φ 的大小；进一步根据无功电流的计算式 $I_Q = I \sin \varphi$ 得到无功电流的大小。这是由视在功率及有功功率计算无功功率的基本方法，此方法可以得到比较精确的数据。

数据：从各输出口可以得到所需数据

5 系统测试结果及说明

5. 1 无功功率及响应时间图如图 5-1 所示

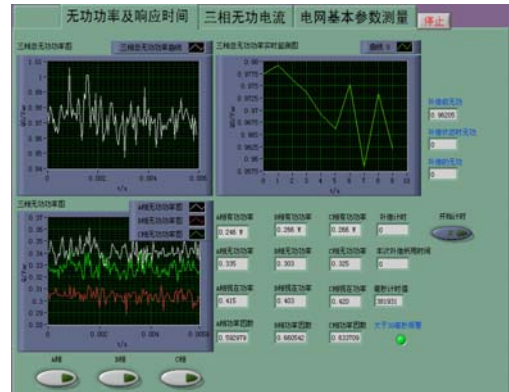


图 5-1 无功功率及响应时间图

Fig.5-1 Reactive power and response time

图5-1中的左上图是三项总功率图，随着时间的推移，波形会叠加在一起，最后会看不清楚，右图为实时监测图，此时看到的是最新10秒的波形图，左下图是三项的无功功率图。在电网正常时，无功功率曲线的波动比较小；当不正常时，曲线会比正常情况下下降，通过动态无功功率进行补偿时，无功功率曲线会在其相应时间内再次达到正常的水平线。这个由不正常到达正常的90%的时间就是动态无功补偿装置的响应时间。

5. 2 三项无功电流

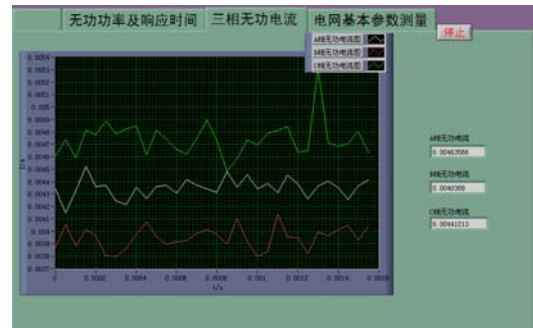


图 5-2 三项无功电流图

Fig.5-2 Three reactive current figure

图 5-2 是显示的三相的无功电流曲线，在正常的电网中，它们一般为近似的直线。与无功功率反应动态无功补偿时间的原理类似，当曲线陡然下降或者慢慢下降到不正常时，我们就可以断定电网已经处于不稳定状态，并且无功功率不足；此时需要运行动态无功补偿装置，向电网中注入无功功率，在注入无功功率的时候，无功电流曲线也会慢慢的回到原来的正常水平。在这个过程中，我们就可以通过其得到动态无功补偿装置的响应时间。目前可以通过游标来计算补偿加入点和到达正常点 90%的时间。

5. 3 电网基本参数测量

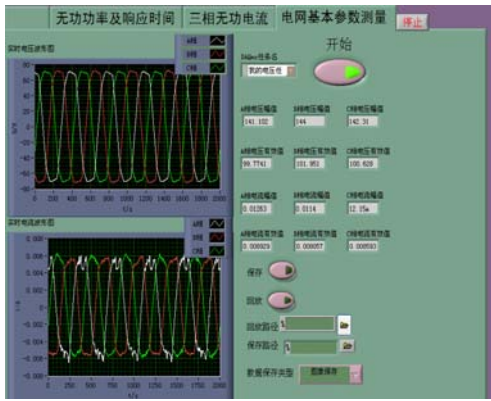


图 5-3 电网基本参数测量图

Fig.5-3 Basic parameter measurement figure of power grid

这是实测实验室试验仪的输出电压电流波形图, 电流波形有毛刺 这是由于电流互感器使用时间过长前面有大功率电阻导致的干扰所致。右侧可以得到电网的电流电压基本参数, 在程序中, 可以通过系数设置来校准, 准确性可以保证。

5.4 响应时间的直接显示

下图 5-4 为响应时间图, 未补偿时, 即条件为假时, 秒表计时; 当补偿时, 即条件为真时, 此时的秒表继续计时, 补偿结束时, 当前的秒表数值减去未补偿前的秒表数值即为此次补偿的时间。

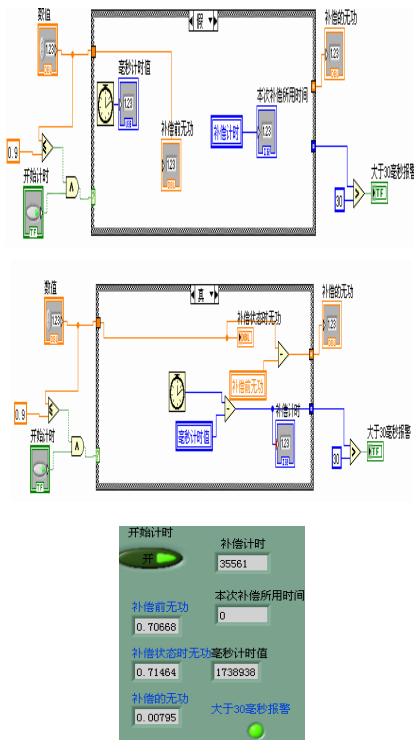


图 5-4 响应时间图

Fig.5-4 Response time figure

5.5 打包程序变为子 VI

将这个无功补偿的程序变为子 VI, 打包嵌入电能质量检测中, 如果实现的好, 会成为一个很好的

产品。创建子 VI 步骤如下: 点击右上角的图标面板, 从弹出菜单中选择 Show Connector 功能。LabVIEW 将会根据控制和显示的数量选择一种联接器端口模式。把联接器端口定义给输入和输出。使用连线工具, 在任意一个联接器端口框内按鼠标键, 则端口将会变黑。再点击任一输入(出)控制件, 一个闪烁的虚线框将包围住该开关。之后继续重复以上步骤, 如果再点击空白外, 则虚线框将消失, 而前面所选择的联接器端口将变暗, 表示你已经将对象部件定义到各个联接器端口。用文件菜单的 SAVE 功能保存上述文件, 现在, 该程序已经编制完成了。它可以在其他程序中作为子程序来调用。

打包之后的程序图如图 5-5 所示:



图 5-5 打包程序图

Fig.5-5 Packaging procedure chart

由图 4-4, 4-5 可以了解到子程序是怎样被调用的。

6 结论

本课题在掌握一定的 LabVIEW 编程方法和无功功率计算方法的基础上, 经过一个月的认真学习和研究, 取得了如下结果: 无功功率的实时检测; 响应时间的显示; 将程序打包变为子 VI; 参数校正, 基本上实现了本课题所要达到的目的。本项目实现了无功补偿响应时间的测试, 从而可以检测出补偿装置的补偿程度及时间是否符合要求, 在发电厂中具有很大的实用价值。目前存在的问题是: 待连接无功补偿装置后, 看无功功率和无功电流曲线在补偿前后的变化趋势是否一样, 然后判断是否能够将两条曲线放在一个图中; 观察无功功率的补偿的程度如何; 观察无功补偿装置的灵敏度如何。

参考文献

1. 拜润卿, 秦睿, 智勇. 风电基地动态无功补偿装置参数实测与分析 [J]. 中国电力, 2012, 45(2): 54-57.
2. 方祥, 王成多, 涂勇. 动态无功功率自动补偿装

- 置的原理与应用 [J]. 电工电气, 2010(4):33-36.
3. 戴成梅, 周启龙, 杨林. 基于虚拟仪器技术的动态无功补偿装置的设计 [J]. 仪器仪表与检测技术, 2009, 28(8):87-89.
 4. 阮琦桢. 我和 LabVIEW[M]. 北京:北京航空航天大学出版社 (Beijing: Beihang University Press), 2009.9.
 5. 张刘春, 韩如成, 张守玉. 无功补偿装置的现状和发展趋势 [J], 太原重型机械学院学报, 2004, 25(1):30-33.

基于 HTG 法的精密油罐测重系统模型设计与实现*

孟庆超； 李继平； 左成君

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012;)

摘要: 针对油品计量存在测量质量大, 精度低, 受温度影响大等难题, 提出基于 HTG 法油罐测重方法, 并设计了基于 HTG 法精密油罐测重系统的模型。该系统模型以 HTG 法为理论基础, 硬件系统由数据采集和显示模块组成, 利用温度和压力传感器进行数据采集。该模型对数据进行了精确的计算并分析了模型的误差。实验表明此种测重模型为实际油品计量系统提供了有价值的参考。

关键词: HTG 法; MAX1457; 数据处理;

Design and realization of precise oil weight measuring system model based on HTG

Meng Qingchao; Li Jiping; Zuo Chengjun

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

Abstract: To tackle the problems of the oil metering, such as large masses, low precision and sensitivity to temperature, the method of oil tank measurement based on HTG is put forward, and a precise oil weight measuring system model is designed accordingly. The system model is based on HTG, and the hardware part consists of the modules of data acquisition and display, which is realized by temperature and pressure sensors. The data have been calculated precisely and the error of the model is also analyzed accurately. Experiments show that the model has provided valuable reference for the actual oil metering systems.

Keywords: HTG; MAX1457; data processing

0 引言

随着对油品计量的要求越来越严格, 其计量的方法也越来越多样化, 从过去的人工检尺, 到现在的数字精密计量。计量手段越来越先进也越来越复杂。在油品生产领域, 由于普遍采用罐装储油方式, 储油质量很大无法上秤称重, 虽然可采用人工检尺的方法测量出储油体积, 算出实际质量。但由于人工检尺这种方法本身存在不可避免的测量误差, 使得测量结果很不精确^[1]。虽有液位计来检测重量, 但此法无法排除温度对油品体积的影响。为解决这一难题将研制一种基于 HTG 法测量油品质量的系统模型, 通过 HTG 法可较为精确的测量油品质量, 满足油品企业的计量要求。

1 系统总体设计

系统由三大模块组成: 储蓄油罐模型设计模块, 数据采集与补偿模块, 数据处理及显示模块。如图 1 所示为系统总体方案结构框图。

为满足精度要求需制备一个特殊容器, 该容器是一个规则的圆柱体。由于整个系统的参数计算是以传感器安装高度为标准的, 所以高度对传感器的测量及系统误差的大小起着至关重要的作用, 以下对容器高度进行理论测算。

假设系统精度为 0.3%, 静压传感器的测量精度为 0.2%, 量程为 0-10kpa, 若不考虑温度的影响则测量的绝对误差为: $10 \times 10^3 \times 0.2\% = 20\text{pa}$ 。液体高度

为 $h = \frac{P}{r \cdot g}$; 圆柱形容器每毫米体积液体质量:

*指导教师: 万云霞

项目类型: 创新项目

$M_{hm} = \rho R^2 g r g 0.001$; 待测液体质量至少为 : $M = (M_{hm} \times h) / 0.3\%$ 。容器内液体高度至少为 : $M / M_{hm} = h / 0.3\% \approx 666.7mm$ 。

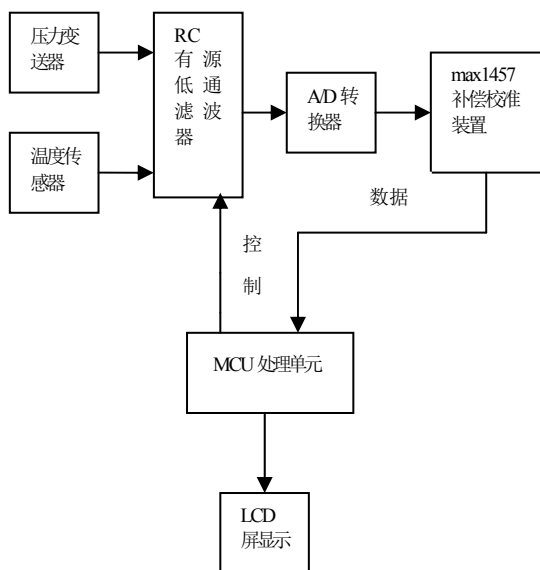


图 1 系统总体结构

由此，该容器所能盛装液体质量的高度至少为 67cm，为保证压力传感器的测量，取容器高度为 70cm。但无论如何安装都无法避免下端传感器以下的死区，只能采用人工检尺的办法进行检测，或采用精密液位计测出液位高度来避免死区带来的误差，所以最下面的压力变送器安装位置应尽可能地低。两个传感器的位置分别选择在 5cm 深和 30cm 深处。如图 2 所示为油罐模型实物图。



图 2 油罐模型实物图

2 数据采集与补偿

2.1 温度采集电路设计

选用 pt100 作为温度传感器，此传感器为高精度的铂电阻温度传感器，线性度好，精度较高，测量范围广，易安装，测量方便^[2]。其阻值随温度变化引起惠斯桥路电压差的变化，其变化量经过放大电路放大后并通过 AD 转换，进入 msp430 采集系统，进行数据处理后将其温度显示到液晶屏上。

msp430 的模数转换器的参考电压为 2.5V，所以桥路的参考电压选为 2.5V，选用 AD580 芯片作为参考电压源。AD580 的优点为初始容差达到 $\pm 0.4\%$ ，温度稳定性优 10ppm / $^{\circ}C$ 长期稳定性优于 250 μV ^[3]。仪用放大器选用 TI 公司的 INA114，此芯片将仪用放大器集成到一片芯片上。优点为低噪声，高共模抑制比，高输入阻抗，放大倍数可调，使用方便。为达到精密测量的目的所有电阻均为精密电阻并具有低温度漂移^[4]。

实际测量油品温度一般在 0 $^{\circ}C$ 到 100 $^{\circ}C$ 之间，msp430 的 AD 转换器为 12 位精度，分辨率为 1/4096，则实际温度的分辨率可达 100/4096=0.024414 $^{\circ}C$ 。100 $^{\circ}C$ 时 pt100 的阻值为 138.51 Ω ，对应 AD 输入电压为 2.5V，实际桥路的压差远小于此电压，为减小对放大器内部噪声的放大，采用减少放大倍数的方法提高精度，使得桥路压差增大^[5]。桥路上侧电阻选用 500 Ω ，下侧选用 200 Ω 滑动变阻器，使其与 pt100 的阻值相一致，在 0 $^{\circ}C$ 时使桥路平衡，输出为 0V。滑动变阻器阻值应为 100 Ω 左右。100 $^{\circ}C$ 时为 2.5V，则桥路电压差为 $(138.51/638.51-100/600)*2.5V \approx 0.125V$ ，放大倍数为 2.5/0.125=20，电阻 $R_g = 25*2/(20-1) = 2.631k \Omega$ ，所以选用 5K Ω 滑动变阻器。如图 3 所示为温度采集仿真电路图。

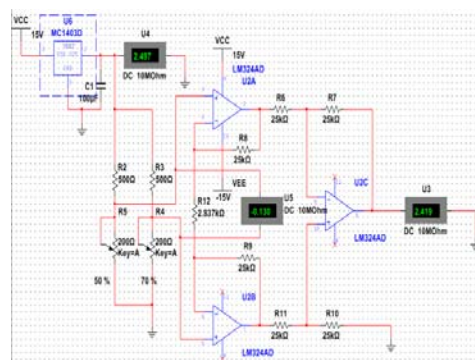


图 3 温度采集仿真电路图

2.2 低通滤波器的设计

设计截止频率为 100kHz 的低通滤波器，采用二阶双二次型滤波电路。由于低通滤波器的截止频率要在 100kHz 所以采用 op27 作为运放，通过双二次低通滤波器的公式可计算每个电阻电容的具体

值。如图 4 为低通滤波器电路图。

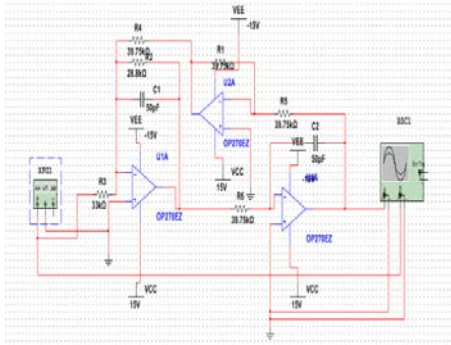


图 4 低通滤波器仿真电路图

利用上述电路图进行仿真，仿真效果如图 5 所示。其中红色波形为输入波形绿色波形为输出波形，增益为 0.707。

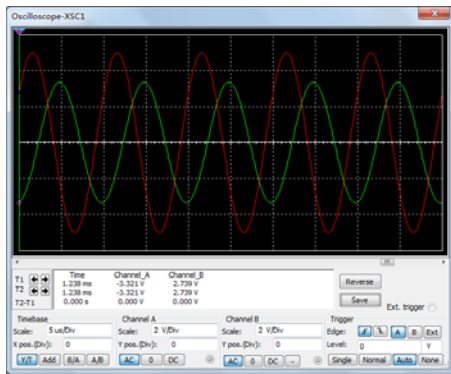


图 5 低通滤波器仿真结果

2.3 数据补偿电路的设计

MAX1457 是一种专用传感器信号调理芯片。此芯片集成化程度较高，可以补偿硅压阻式压力传感器的温度误差和非线性误差^[6]。基于此芯片的数据补偿电路如图 6 所示。

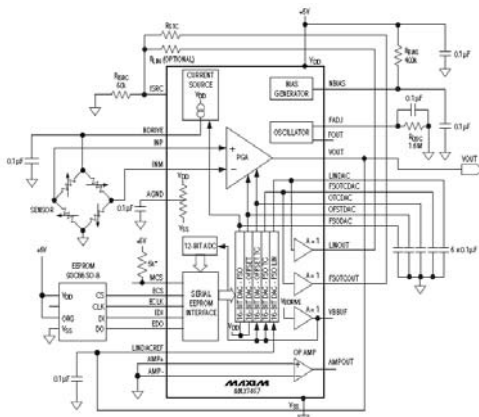


图 6 基于 MAX1457 的数据补偿电路

补偿原理：用可编程电流源给传感器电桥供电，由桥路端电压与温度的关系，取温度信号 $V(T)$ 为桥路的端电压，用一个 12 位 ADC 将 $V(T)$ 转换为数字量，并用此数字量寻址 EEPROM，可以得到不同线

性区段的补偿系数 $D(T)$ ^[7]。从 EEPROM 取出的 FSO 补偿系数分别写入 2 个 16 位 DAC (OFFSETTC 和 FSOTC) 中，由于参考电压取自桥路端电压 $V(T)$ ，DAC 的输出电压可以表示为：

$$V_{DAC} = \frac{D(T)}{2^{16}} V(T) \quad (1)$$

对两路 DAC，分别选择适当的 $D(T)$ ，就达到了补偿效果。

上述补偿电路输出为 5V，因此又搭建了一个电压跟随与分压电路如图 7 所示，使输出为 2.5V。其中左端为输入，右端为输出。

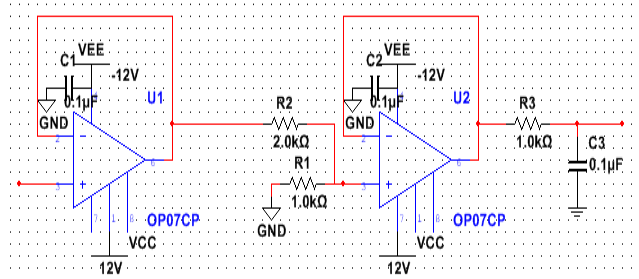


图 7 电压跟随与分压电路

3 数据处理及显示

3.1 压力传感器测试及校正参数的获取

采集的压力输出数据如表 1 所示，并在 matlab 上进行了数据图像的绘制如图 8 所示为传感器输出数据曲线，可以看出结果较好地符合线性关系。

表 1 压力输出值

液位高度	5	10	15	20	25	30	35
传感器 1 输出	0.03	0.44	0.90	1.34	1.8	2.23	2.69
传感器 2 输出	7	5	7	8	11	5	7
理论输出 1	0	0.407	0.815	1.221	1.628	2.035	2.442
理论输出 2	0	0	0	0	0	0	0.245

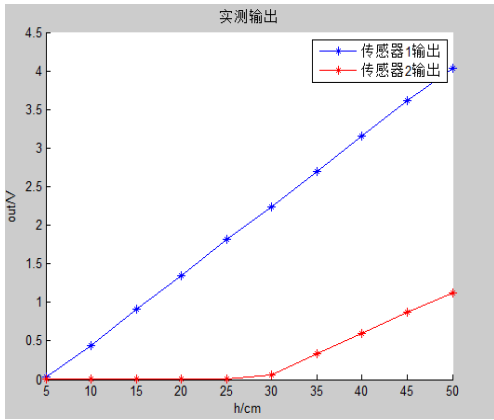


图 8 传感器输出数据曲线

由于扩散硅压阻式温度传感器会产生零点漂移及温度漂移所以需要进行补偿，通过 MAX1457 进行补偿校正，但须测定其不同温度下的零点及温度漂移程度^[8]。具体做法为：当模型内不加任何水时进行零点测试，然后加入事先调好温度约 40℃ 的水，记录此时传感器的输出，然后待水温逐渐降低，通过上一步的温度获取电路来监测水温的变化，每降低 1℃ 时，记录传感器的输出。由于实验室条件有限，所以只记录约 15 组数据，即 40℃~25℃ 每一温度下传感器的输出。

通过分析数据可知温度传感器的温度漂移不明显，表现在高度上的误差(40℃ 时)仅为 2.2mm。

因为 MAX1457 是通过在不同的温度下进行寻址 EEPROM，将其内部所存的矫正参数进行数模转换然后通过与传感器输出进行加和，达到补偿校正的作用^[9]。由于 MAX1457 内部均为 16 位 DA 转换器，根据已有的实验数据对 40℃ 至 25℃ 的温度区间进行补偿，共进行 15 次插值。

零点的校正直接通过 msp430 即可解决，虽然零点也会发生温度的漂移但由于实验室条件有限无法准确设定传感器的工作温度所以零点校正只进行室温校正零点输出为 0.016V，只需在在 AD 转换结果上减掉 131 即可。

3.2 数据处理

由于测量罐内液体的密度、温度、质量、高度一共 4 个参数，为了得到更加准确的参数数值，以密度为基准标定其他参数。由于温度传感器可精确到小数点后两位，可得到较为精确的温度参数，但水(实验时以水为实验对象)的密度与温度并不成线性关系，也没有准确的公式可供参考，因此，采用查表的方式来得出液体密度。

具体参数计算公式如下^[10](AD 参考电压:2.5V):

温度:

$$T = \frac{V_{\text{输入}}}{2.5} \cdot 100 \quad (2)$$

压力:

$$P = \frac{V_{\text{输入}}}{2.5} \cdot 6000 \quad (3)$$

高度:

$$H = \frac{P}{r \cdot g} \quad (4)$$

质量:

$$m = \rho R^2 H g r \quad (5)$$

其中，公式 (2) 中 $V_{\text{输入}}$ 为温度传感器输入，公式

(3) 中 $V_{\text{输入}}$ 为压力传感器输入， ρ 为水的密度， g 为重力常数， R (容器半径)=15cm。

程序流程图如下:

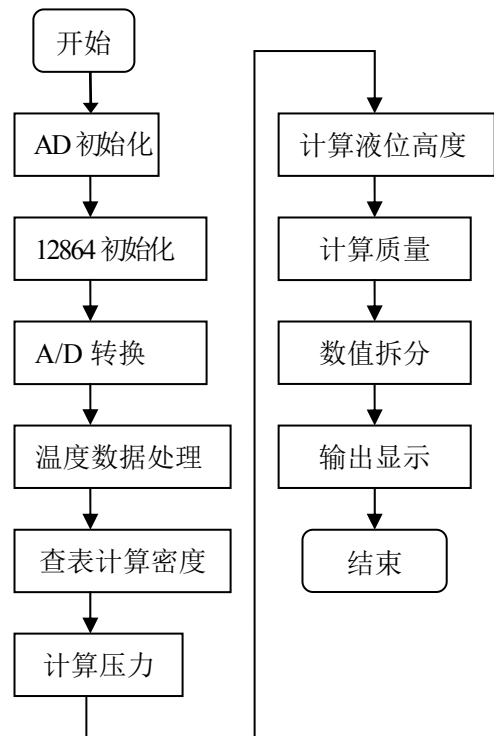


图 9 系统程序流程图

4 结果及误差分析

4.1 结果分析

密度的分辨率到小数点后两位，温度只显示整数部分，液位高度的分辨率为毫米，质量的分辨率

为克。显示内容与实际测量还存在误差。高度误差约在 1.5cm 左右，质量误差在 0.7kg 左右，按底部传感器量程为 6Kpa 计算，高度误差在 2%，质量误差在 1.5%，已满足短学期 3% 的误差要求。

4.2 误差来源分析

1)模型的尺寸为手工标定，不可避免的存在测量误差。

2)所有电阻都存在阻值误差及温度漂移，这也是产生误差的原因之一电阻的阻值误差约为 1%，温度系数为 5ppm。

3)A/D 转换器的分辨率有限，并且存在量化误差，误差为 0.0245%。

4)msp430 在做除法时只能保留其整数部分，这大大降低了数据的精度。由于本阶段时间有限算法还不够完善。在日后会设计精度更高的算法。

5)在实际比对时同样采用人工检尺和测量的方法，测量的精度有限，同样是产生误差的原因之一。图 10 为数据处理的实物图。

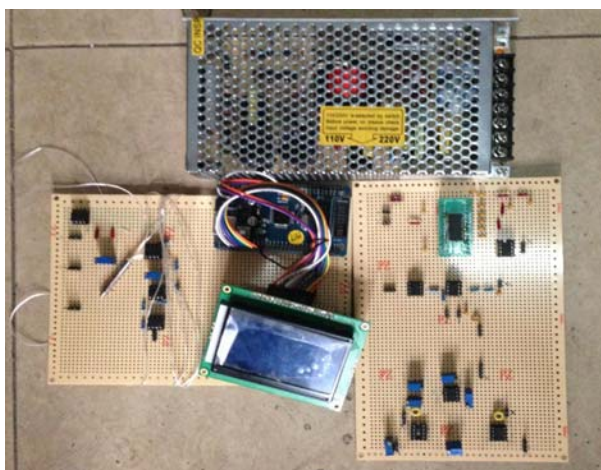


图 10 数据采集及处理部分电路图

5 结论

应用 msp430 获取实验数据并进行数据处理，反应速度快，处理精度高。应用 max1457 对传感器获取的数据进行补偿，提高了系统的精度。该系统各参数指标已达到要求，可保证测量误差在 3% 以内。大量的实验数据表明该系统模型在质量精度上完全满足要求，解决了油品难以准确称量的难题，且成本相对较低，为实际油品计量提供了参考。

参考文献

1. 刘宏伟. HTG 法罐区计量系统在油品调合中的

应用[J]. 2012. 27(4).

2. 李芸婷, 万振凯. Pt100 温度传感器数据实时采集系统[J]. 仪器仪表用户. 2007(05).
3. 江金光, 王耀南. 高精度带隙基准电压源的实现[R]. 半导体学报. 2004.7.
4. 董海风, 黄岑越. 油罐自动计量系统与压力传感器[J]. 石油商技, 2003(3) .
5. 张春晓, 刘沁, 刘妍. 扩散硅压力变送器的精密温度补偿[J]. 传感器技术. 2011.
6. 戴颜. HTG 系统在罐区管理中的应用[R]. 科技创新导报. 2009.10.
7. 蒋小燕. 基于 MAX1457 的硅压阻式传感器智能补偿与标定系统的应用研究[D]. 兰州大学硕士学位论文, 2000.4.
8. 李林, 税爱社, 韩飞等. 储油罐计量系统中精度的分析及提高[J]. 后勤工程学院学报, 2007.33-37.
9. 曹伟伟. 油罐自动计量系统[J]. 石油化工自动化. 2012.48 (2) .
10. 周绍骑. 油罐储量测量方法研究[J]. 油气储运, 1993(03):29-33.

基于 Matlab 仿真平台下异步电机故障诊断的仿真研究*

孟繁超; 张 航; 于通国

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 利用 MATLAB 仿真软件对三项交流异步电机常见的堵转、断条、电源接地等情况进行故障仿真。对仿真结果进行 FFT 分析, 将多组电源接地信号频谱分析的结果作为 BP 神经网络的训练样本。然后对样本进行数据处理和归一化, 把这些特征参数作为神经网络的输入, 经过训练学习, 以判断系统状态, 识别系统的故障。

关键词: 神经网络 故障仿真 异步电机 Matlab

中图分类号: TG156 文献标识码: A

Research of asynchronous motor fault diagnosis based on Matlab simulation platform

Meng Fan-chao; Zhang Hang; Yu Tong-guo

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

Abstract: To do the common fault simulation like locked rotor, Section bar, power ground etc of the three-phase AC asynchronous motor by MATLAB and analyse the result using fft method. Take several power ground signals as the training sample of the BP nerve net. Then get the data processing and normalization. Take these parameters as the inputs of the nerve net. To judge the state of the system and recognize the fault after study train.

Key words: Neural network Fault simulation Asynchronous motor Matlab

0 前言

异步电机广泛应用与工农业中, 据统计, 目前全国运行的电机数量占电网用量的 70% 以上。全国每年烧毁电机数量大约在 300 万台以上。

目前对于电机维修主要分为离线和在线两种维修方式。而在线维修具有良好的实时监测性, 可以避免或减少因电机故障造成的损失。

在实际运作中以堵转、断条、电源接地等故障居多, 因此本文采用 MATLAB 对以上三种故障进行仿真建模, 并对三项电源接地进行重点的分析和研究。对定子电流进行 FFT 分析, 将分析出的数据进行处理和归一化后作为神经网络的输入来训练网络。实现使用神经网络对电机故障进行诊断。

1 神经网络及故障诊断原理

1.1 神经网络

神经网络(见图 1)是由大量神经元按一定的拓扑结构互相连接而成, 每个神经元是神经网络的基本处理单元。一般是多个输入, 一个输出的非线性单元。图中 Y_i 是神经元的输出, H_i 是阈值, X_j 为输入信号, W_{ji} 表示从神经元 U_j 到 U_i 的连接权值, S_i 表示外部输入信号。上述模型可描述为:

$$e_i = \sum W_{ji} X_j + S_i \quad (1-1)$$

$$Y_i = f(R_i - H_i) \quad (1-2)$$

其中 f 为激活函数。人工神经元的的信息处理分三个

*指导教师: 仲志成

项目类型: 创新项目

部分,首先完成输入信号与神经元联接强度内运算,然后再将其结果通过激活函数(如 Sigmoid 函数),再经过阈值函数判决,如果输出值大于阈值,则该神经元被激活,否则处于抑制状态。神经元按一定模式连接成网络型,神经元之间的连接权值的大小反应信号传递的强弱。

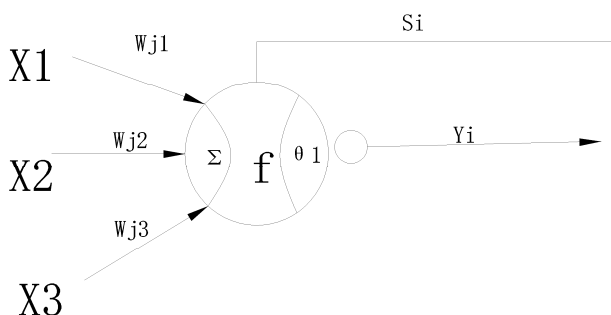


图 1 神经网络

1.2 BP 网络模型

BP 网是误差反向传播的多层前馈网络。是人工神经网络中最具代表性和应用最为广泛的一种网络模型。它由输入层、隐含层、输出层组成。在网络中,信号由输入单向传至输出,且同一层的神经元之间互不传递信号。每个神经元与相邻层的所有神经元相连。某一层的神元的输出值通过连接权系数的加强或抑制传输到下一层的神经元。除了输入层外,每一神经元的输入为前一层所有神经元之输出值的加权和。

1.3 故障诊断原理

根据神经网络强大的学习功能,使用电机不同状态运行时的电流特殊频率的幅值对神经网络进行训练,训练后的网络便可对相同条件下的电机进行故障诊断。神经网络电机故障诊断的根本原理是通过频谱特性诊断电机故障。定子电流的频谱分析是诊断和监测交流电机故障的有效方法,它可以诊断交流电机笼型绕组的断条、电压缺相、电压断相、接地断相。笼条断裂和气隙偏心等故障征兆都会通过气隙磁势场在定子电流中反映出来,通过定子电流检测和频谱分析可对这些故障进行诊断,然而频谱特性分析不稳定且复杂,使用神经网络则可以快速判断故障种类。神经网络故障诊断的正常以及故障时的数据采用 matlab 异步电机故障仿真模型的数据。

2 电机故障仿真及频谱分析

2.1 转子断条故障

2.1.1 定子电流检测诊断断条的原理

理想的异步电机定子电流的频率是单一的,即电流频率。但是当转子回路出现故障时,定子电流频谱图上,在与电源频率相差二倍转差频率(2sf)的位置上将出现一个旁频带,这一现象已被英国 Hargis 等学者的理论所推论证实。从边频幅值以及它与基频电流幅值的差值大小,可以推断出断裂笼条的估计数。这就是异步电动机定子电流频谱分析来诊断断条的原理。

2.1.2 断条故障模型建立

当不考虑转子实际结构时,绕线和鼠笼式三项异步电机的模型完全相同。并且按照回路理论,当异步电机发生转子断条故障时,其实只是改变了回路磁通的大小和分布形式,所以完全可以利用转子某项绕组的电阻变化来替代。电机仿真参数为:

定子电阻: $R_s=0.435 \Omega$; 自感: $L_s = 20e^{-3}H$;

互感 $L = 69.31e^{-3}H$; 转子电阻 $R_r = 0.816 \Omega$;

转子自感 $L_r = 2.0e^{-3}H$;

转动惯量: $J = 0.089kg.m^2$;

绕线转子电阻(外接) R_a, R_b, R_c (正常时均为 0.1Ω ,故障时有一项为 $0.5 \Omega - 2.0 \Omega$); 额定负载 $11.9Nm$ 。转子断条仿真如图 2 所示:

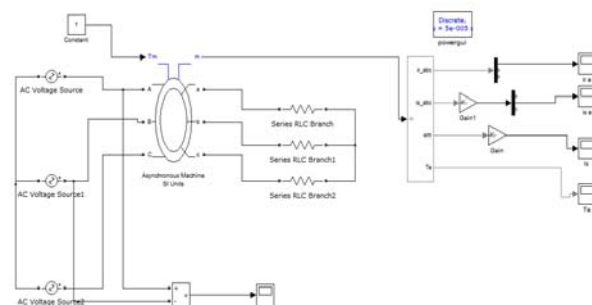


图 2 异步电机断条故障仿真图

正常与故障定子电流波形及频谱如图 3 图 4 所示:

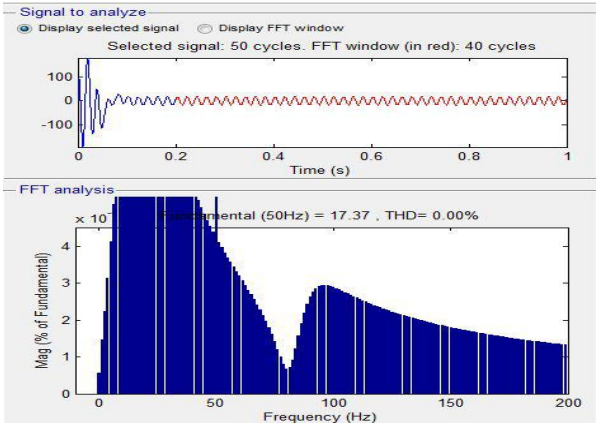


图 3 异步电机断条故障定子电流及频谱

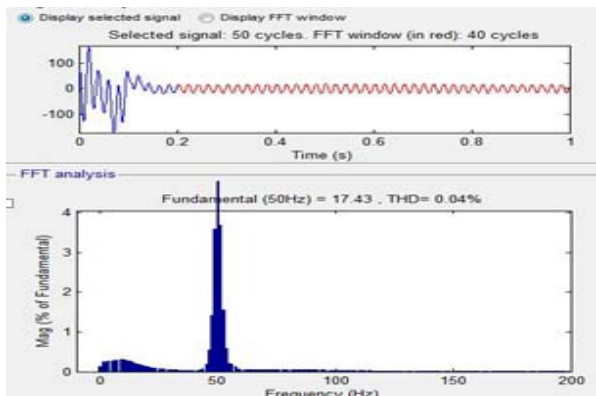


图 4 异步电机正常定子电流及频谱

以上正常与故障的频谱图显示，在异步电机正常时频谱谐波值占中心频率频率的 $5 \times 10^{-4}\%$ ，而在电机发生断条故障时电流谐波占有为 0.5% 左右，相差三个数量级。

2.2 堵转故障建模仿真

2.2.1 堵转故障仿真原理

堵转故障是指电机转子因故障无法转动，在其 T 型等效电路中表现为转差率 $s=1$ ，即附加电阻为零的状态。在这种情况下， $s=1$ ，转速 $n=0$ ，即电动机在外施电压下处于静止状态。在对电机故障进行仿真时，通过对电机内部反馈的修改，仿真电机堵转故障，堵转时电机没有转速反馈，所以改为 0 输入。

故障模型如图 5 所示：

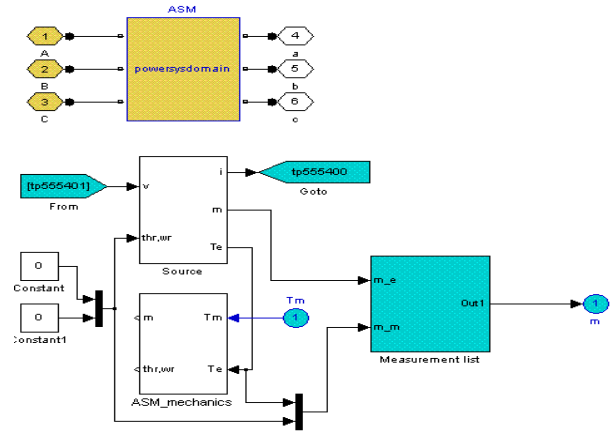


图 5 堵转故障仿真

2.2.2 故障诊断原理

堵转故障时，电机相当于一个接通电源的电感元件，所以电流相对比正常情况下的电流大很多，大概在 12-50 倍。通过分析定子电流幅值即可推测出堵转故障。正常时与故障电流波形如图 6 图 7：

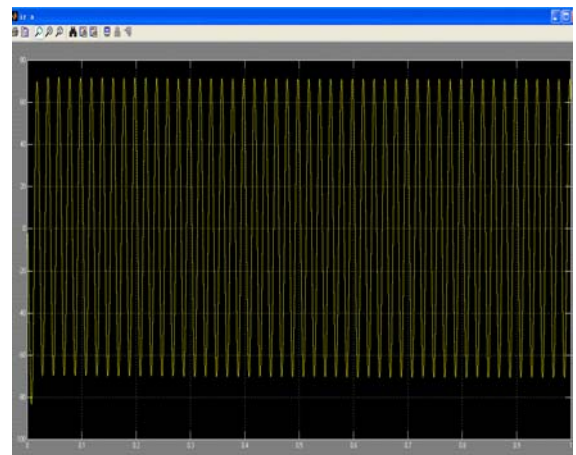


图 6 堵转故障定子电流图

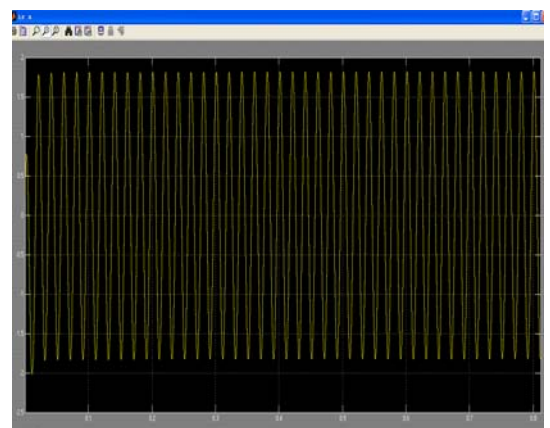


图 7 正常定子电流波形

由定子电流故障和正常时的波形可以看出，故障时电流幅值约为 75A，故障时约为 2A。与理论结果符合。

3 神经网络电机故障诊断

3.1 网络输入层神经元的确定原则

由于大部分现场不可能为诊断提供详尽的电机运行参数，这就要求选择具有广泛适用性的特征参量作为输入神经元。因此，故障特征参量的选取遵循以下原则：无量纲化，无量纲量一般不受电机容量大小的影响，与电机结构、型式和尺寸没有必然的联系；它具有变量特征，能够反应故障程度的变化；易于区分故障；特参量在工程上易于提取。

3.2 训练样本的选取

神经网络诊断方法相比于逻辑识别具有更强的容错能力，即不会因在某一特征参量上的判别的失误而导致误判，这在一定程度上降低了误判的风险。但该方法要求训练样本非常丰富，其诊断的精度依赖于该领域经验和知识的多少。为此，我们建立了适于异步电机故障分析的多回路模型，通过对电机三类典型故障各特征参量大量的仿真数据。

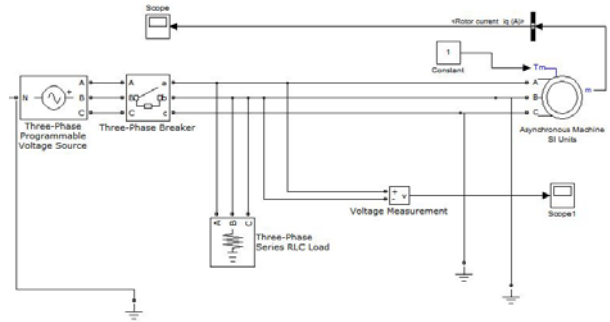


图 8 断相故障仿真图

本网络采用 3 层 BP 网络结构，输入层节点数为 7，隐含层节点数为 $2*7-1=13$ ，输出层节点数为 3。电机定子电流谱图中，各故障特征频率所对应的幅值归一化后 $X=[X_1, X_2, \dots, X_n]$ 作为网络的输入，设定故障输出为正常 (0.0.0)；A 相断路 (1.0.0) B 相断路 (0.1.0)；C 相断路(0.0.1)；AB 两项断路 (1.1.0)；BC 两项断路(0.1.1)；AC 两项断路(1.0.1)；

选取特征频率后的数据见表 1

数据归一化处理数据见表 2

时间	0.0067	0.008	0.013	0.02	0.05	0.1	0.2	1
正常	-326.84	-249.36	163.58	277.42	-11.75	-1.91	1.28	0.70
a	-98.52	-98.52	70.64	129.86	-262.93	120.11	201.26	-186.17
b	-302.21	-269.98	83.35	221.96	-32.08	-85.57	88.75	-0.85
c	-188.70	-188.70	265.16	23.66	-192.98	106.47	-92.82	79.24
ab	-96.31	-117.00	-34.57	121.15	-111.91	99.34	31.57	183.59
ac	-26.24	2.92	126.37	-85.66	83.23	-95.36	-163.77	171.09
bc	-201.84	-179.63	175.01	68.43	-84.49	15.37	34.36	-1.19

表 1 特征频率下定子电流

时间	0.0067	0.008	0.013	0.02	0.05	0.1	0.2	1
正常	0.00	0.08	0.66	1.00	0.73	0.43	0.45	0.51
a	0.76	0.63	0.35	0.59	0.00	1.00	1.00	0.00
b	0.08	0.00	0.39	0.85	0.67	0.05	0.69	0.50
c	0.46	0.30	1.00	0.30	0.20	0.94	0.19	0.72
ab	0.77	0.56	0.00	0.57	0.44	0.90	0.54	1.00
ac	1.00	1.00	0.54	0.00	1.00	0.00	0.00	0.97
bc	0.42	0.33	0.70	0.42	0.52	0.51	0.54	0.50

表 2 数据归一化处理数据

3.3 神经网络训练及测试

训练程序为：

```
net=newff(minmax(X1),[17
3],{'tansig','logsig'},'trainlm');
net=init(net);
net.trainparam.epochs=1000;
net.trainparam.goal=0.00001;
LP.lr=0.1;
```

```
net=train(net,X1,T1);
y1=sim(net,X1);
save bpnetwork_1.mat net
X_test=x(:,1);
y_test=sim(net,X_test);
for i=1:3;
Y_test(i,:)=y_test(i,:)*(max(t(i,:))-min(t(i,:)))+mi
n(t(i,:));
```

end
Y_test

取最大重复次数为 1000，精度为 0.00001，学习速率为 0.1 来对网络进行训练。训练结果如图 9：

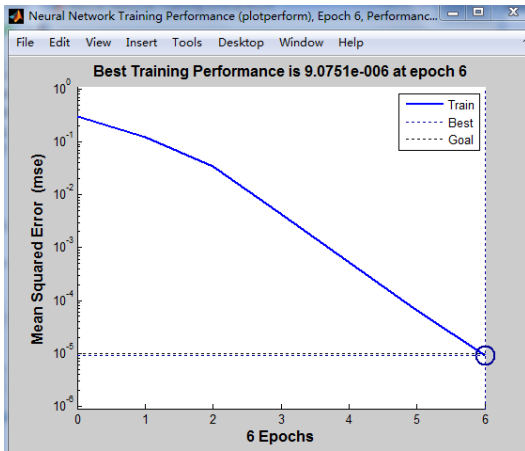


图 9 神经网络训练结果

A相接地短路	0.76	0.63	0.35	0.59	0.00	1.00	1.00	0.00
B相接地短路	1.00	1.00	0.54	0.00	1.00	0.00	0.00	0.97
AC相接地短路	0.08	0.00	0.39	0.85	0.67	0.05	0.69	0.50

表 3 测试样本

样本	故障原因	理想输出	实际输出
1	A 项接地短路	1.0.0	0.9998, 0, 0
2	B 项接地短路	0.1.0	0, 0.854, 0
3	AC 项接地短路	1.0.1	0.914, 0, 0.793

表4 测试结果

由上可看出，神经网络的实际输出与理想输出是相当接近的，达到训练的要求，可用于待检模式的故障诊断。

4 结束语

利用matlab仿真三相交流异步电机可以快速有效的反应电机故障，但是由于电机内部结构非常复杂，一个故障往往是由多部分造成的，所以利用Matlab仿真具有一定的局限性。但是利用神经网络进行异步电机的在线故障诊断已经成为一种趋势。基于人工神经网络的模式分类，首先要求有大量的训练样本，即要求该领域的知识和经验特别丰富。因此，更进一步地加强对电机故障机理的研究，是解决电机故障诊断问题的关键。基于BP网的诊断方法，在一定程度上降低了误判率，提高了诊断精度。但BP算法收敛速度慢，对

将3个故障模板A相接地短路；B相接地短路；AC相接地短路进行测试。测试样本如表3，测试结果如表4：

于一个特定问题，无论是增加隐含层数还是更多的神经元数目，对问题的解决可能并没有多大的帮助。因此，采用离线训练，并适当地选择网络的连接权系数初值和其他参数就显得十分重要。

参考文献

17. 张建文. 电气设备故障诊断技术. 中国水利水电出版社, 2006, 123~152.
18. 王宏力, 侯青剑. 故障诊断方法与展望. 传感器与微系统. 2008, 27 (5).
19. 张丽娟. 异步电机在线诊断系统[硕士学位论文]. 兰州理工大学, 2009.
20. 孙丽, 赵希, 基于人工神经网络的电机故障诊断研究. 科技资讯, 2008, 12.

21. 杨晓华, 傅志锋。三相异步电动机的故障原因及其处理研究。现代商贸工业, 2009, 8。
22. 刘军。故障诊断方法研究及软件开发[硕士学位论文]。大连理工大学, 2000。
23. 何立柱。三相异步电动机的故障诊断与解决办法浅析。硅谷, 2009, 2。
24. 杨勇。电流频谱分析在电动机故障诊断中的应用。技术交流, 2007, 52 (3)。
25. 沈标正。电机故障诊断技术。北京: 机械工业出版社, 1996, 367~375。
26. 郭晶, 孙伟娟。神经网络理论与 MATLAB7 实现。北京: 电子工业出版社, 2005, 99~104。
27. 杨智, 张新武, 何新。电流频谱分析在电动机故障诊断中的应用。内蒙古石油化工。2007, 8。
28. 王笑宇。Elman 神经网络在三项异步电机故障诊断中的应用[J]现代电子技术。2009, (10): 161-163。
29. 付光杰。基于粒子群神经网络的异步电机故障诊断系统的研究[J]化工自动化及仪表。2013, 40 (2): 145-149。
30. 刘志恒。基于小波分析和神经网络的异步电机故障诊断[J]。太原: 太原理工大学, 2011: 1-84。

基于 FPGA 的直接数字合成信号源设计*

张林行; 赵美聪; 尚小虎; 刘阳

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 提出了一种基于现场可编程门阵列 (FPGA) 的直接数字合成 (DDS) 信号源的设计方案和试验方法。设计的信号源可以产生正弦波、三角波、方波、矩形波、锯齿波。同时可以对产生的信号进行频率调节、相位调节、幅度调节。设计应用了锁相环 (PLL) 技术, 输出信号频率稳定。与传统信号源相比, 该设计成本低、体积小、易于实现。

关键词: 直接数字合成 信号源 现场可编程门阵列 锁相环

中图分类号: TN791

文献标识码: A

Design of DDS signal generator based on FPGA

ZHANG Lin-hang; ZHAO Mei-cong; SHANG Xiao-hu; LIU Yang

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130021)

Abstract: A method based on FPGA was presented for DDS signal generator. The DDS signal generator can provide sine wave, triangle wave and square wave. Meanwhile, the frequency and amplitude of the signal are adjustable. PLL is used to make the output signal frequency stability. This design has the advantages over the traditional signal generator of lower cost, smaller volume and easier to implement.

Key words: DDS Signal generator FPGA PLL

0 前言

直接数字合成技术 (Direct Digital Synthesis) 是基于取样技术和计算, 通过数字合成来生成波形信号, 频率和相位对于固定的参考频率可以调节。DDS 信号源频率分辨率高, 频率切换速度快, 输出相位噪声低, 便于集成。DDS 在现代电子器件、通信技术、医学成像、无线 PCS/PCN 系统、雷达、卫星通信中, 具有很广泛的应用。

现场可编程门阵列 (FPGA) 设计灵活、速度快, 在数字专用集成电路的设计中得到了广泛的应用, 具有高集成度、高速度、可实现大容量存储器功能的特性。PLL 锁相环是一种利用反馈控制原理实现的频率及相位的同步技术, 其作用是将电路输出的时钟与其外部的参考时钟保持同步。基于 Altera Cyclone 系列的 FPGA 设计 PLL

和制作 DDS 信号源, 能有效地实现 DDS 技术, 极大的提高波形发生器的性能, 降低生产成本。

1 DDS 信号源的原理方案

基于 FPGA, 用 Quartus2 软件通过 VHDL 语言进行程序设计。设计 PLL 锁相环来控制不同工作时钟, 保证内外工作频率的同步性; 设计频率产生及控制部分, 通过寻址波形 ROM 来产生正弦波、三角波、方波, 并进行频率调节和相位调节, 通过相位调节而获得矩形波和锯齿波。再经过 D/A 转换, 输出波形信号。通过控制 D/A 的基准电压来调节输出信号的幅度。

2 DDS 信号源的试验方法

选用 Altera 公司的 CycloneII EP2C5T144C8N

*指导教师: 张林行

项目类型: 创新项目

芯片作为控制系统。提供 50M 的系统时钟送入 FPGA 芯片内置的锁相环，用 VHDL 语言设计锁相环输出一个 50M 的时钟作为频率生成与调节的工作时钟。系统时钟经 16 分频后的时钟供给串口模块，通过频率控制模块产生频控制字 PFSK、PASK/PSK 分别送入 NCOFSK、NCOASK/PSK 模块，产生调节信号 ASKOUT、PSKOUT、FSKOUT。将产生的调节信号通过串口方式返送回 PC 端进行验证分析。最后通过 D/A 转换，将数字信号转换成模拟信号，作为 DDS 信号源的输出信号。

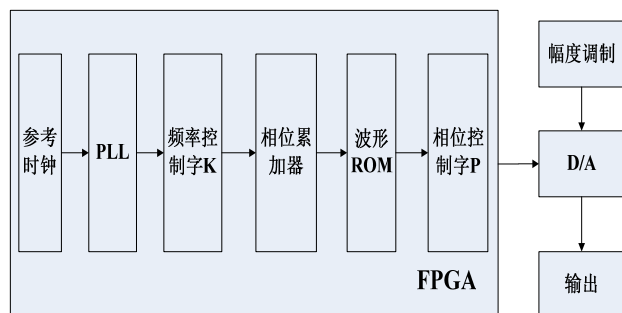


图 1 总设计原理框图

Fig.1 Block diagram of the total design

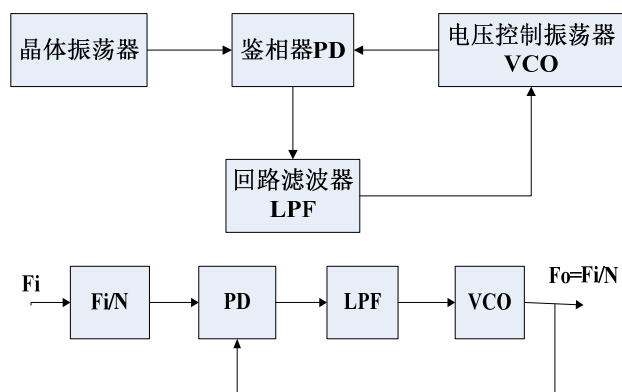


图 2 锁相环 (PLL) 原理图

Fig.2 Block diagram of PLL

频率控制模块的设计：

设计频率步进为 100HZ，由于频率范围很宽，要求改变频率时如果跨度较大则需要很长的时间通过频率步进端来改变输出频率。因此在实际频率控制模块中，增加了 2 个附加的频率步进按钮。分别为最小步进 100HZ 的 10 倍、100 倍即 1KHZ、10KHZ。这样从大到小地利用频率步进值便可很快地调到所需要的频点。

为了实现这个设计方法，由公式 (1) 可以看出，当 $f_c / 2^N$ 确定后 f_0 与 K 成正比关系。计算出输出频率 $f_0 = 100HZ$ 时 K 的值，则这个 K 的

值就是频率字步进 100HZ 时频率字 K 的增量，记为 DK。要成倍地增加步进频率，则只需以相同的倍数增加 DK 的值。

$$f_o = k f_c / 2^N \quad (1)$$

$$f = 2MHz \cdot 40\% = 800KHz \pm 100KHz \quad (2)$$

$$f_{min} = \frac{f_{clk}}{2^N} = \frac{30MHz}{2^{24}} \gg 1.788Hz \in 100Hz \quad (3)$$

相位累加器设计：

相位累加器由一个 N 位的全加器和一个寄存器构成。当系统时钟上升沿到来的时候，上一个时钟周期的相位值与频率字的相加值被送入累加寄存器，并输出高 W 位至波形存储器的地址线，同时相位值又被送回全加器进行相位累加。

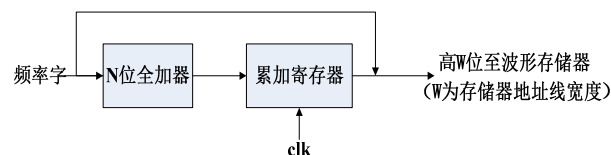


图 3 相位累加器设计

Fig.3 Block diagram of the phase accumulator

由于频率分辨率等于或小于频率步进值，而且累加器字长一般为 8 的整数倍。由公式 (2) 和 (3) 设计累加器字长为 N=24。

波形 ROM 设计：

根据噪声功率的角度看波形 ROM 的地址线位数应该等于或略大于字长。由于选择的 DAC 位数为 8，所以选择 ROM 的字长和 DAC 的字长一致，地址线的位数确定为 8 位。波形存储器利用相位累加器输出的高 8 位作为地址线来对其进行寻址，输出该相位对应的二进制正弦幅值。用 MATLAB 编辑程序产生正弦数据：

```
>> clear tic;
t=2*pi/256
t=[0:t:2*pi];
y=128*sin(t)+128;
round(y);
t=0.0245
```

ans

将得出的结果转化为 8 位的二进制数据，起幅值对应在 00000000-11111111 区间内。最后利用得到的二进制数据用 VHDL 编写程序实现正弦

ROM 的设计。

调节幅度设计：

用两片 DAC 芯片级联，其中第一片 DAC 作为数模转换芯片，它的电压作为信号源产生信号的基准电压。第二片 DAC 用于幅度调节，将调节后的电压输入第一片 DAC 作为第一片 DAC 的基准电压，从而实现幅度调节。

3 试验结果

通过软件仿真和实际试验，制作的信号源可以产生正弦波、三角波、方波、矩形波、锯齿波，信号的频率、相位、幅度可通过按键灵活控制，输出信号的频率稳定，实现了设计目的。

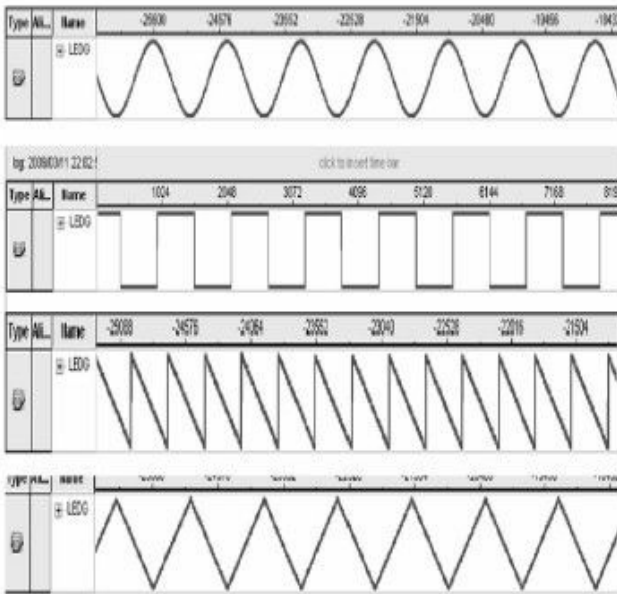


图 4 信号源仿真图

Fig.4 Simulation diagram of the signal source

4 结论

本设计基于 FPGA 和直接数字合成 (DDS) 技术设计的信号源，能够产生多种波形，实现了对产生信号的实时频率调节、相位调节和幅度调节。并且具有成本低、体积小、便于携带等优点。

参考文献

1. 蒋涛, 唐宗熙, 张彪. 一种基于 DDS+PLL 结构的频率合成器的设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2009,23 (10): 91-95.

2. 杨萍, 兀旦晖, 杨良煜. DDS 技术在正弦信号发生器中的应用[J]. 计算机测量与控制, 2008,16 (11): 1738-1740.

3. 黄智伟. 锁相环与频率合成器电路设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.

4. 杨秀增. 基于 FPGA 和 DDS 的信号源设计[J]. 电子设计工程, 2009 (11): 7-8, 11.

5. 胡升平, 宋跃, 雷瑞廷, 余炽业. 基于 FPGA 的 DDS-AM 调幅波产生方法研究及实现[J]. 仪表技术, 2007 (4): 7-8.

6. 郑黄婷, 赖万昌, 毛伟. 基于 FPGA 的 DDS 波形信号发生器的设计[J]. 电子设计工程, 2012, 20 (24): 153-154,158.

7. 张凯琳, 苏淑靖, 刘利生, 易春莉, 郑文强. 基于 FPGA 的 DDS 多路信号源设计[J]. 电测与仪表, 2011,48 (543): 63-65.

8. 王庆东, 谢长生, 王海卫. 一种基于 FPGA 高集成化的直接数字频率合成系统的设计[J]. 计算机科学, 2007,34 (10): 299-300.

9. 王伟, 赵吉祥. 基于 FPGA+DDS 的控制设计[J]. 测控技术, 2008 (06): 13-15,19.

10. Wang A Y, Ling Z H. Dynamical analysis and circuit simulation of a new three-dimensional chaotic system[J]. Chinese Physics B, 2010, 19(7):070506.

11. 沈辉, 王诗魁, 韦英芽. 基于 FPGA 和 DDS 的数控信号源的设计与实现[J]. 电子科技, 2012,25 (3): 82-84,89.

基于单臂电桥测量微小电阻原理的手绘绘图板系统的设计*

王子蕴； 黄维宁； 赵逸夫

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 为了达到题目中高分辨率地准确识别触点位置的要求而设计的基于单臂电桥测量微小电阻原理的手绘绘图板系统, 作品分为多输出电源模块, 电压基准源模块, 单臂电桥模块, 精密差分放大模块, 高精度 A/D 模块, 控制器模块, 显示模块。为了最大限度地降低干扰, 使用了屏蔽线以及 BNC 接头作为信号线; 电桥使用小阻值电阻 (0.1 欧姆、0.5 欧姆) 以准确反映出手绘板的阻值变化, 更易测量; 放大模块使用高精度的电阻以提高差分放大器的性能, 为了给放大器供电使用了 DC-DC 模块以提供正负十二伏电源。系统使用了低功耗高精度的基准源、低功耗的控制器等, 降低系统的功耗。这样的系统能够达到要求中高精度、高分辨率、低功耗的要求。

关键字: 微电阻桥; 精密差分放大器; 高精度 A/D 转换器; DC-DC 电源模块; 中值滤波法

Wheatstone bridge design principle for measuring small resistance handwriting system based on the drawing board

Wang Ziyun ; Huang Weining ; Zhao Yifu

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

Abstract: Based on the principle of measuring small resistance Wheatstone bridge handwritten drawing board systems in order to achieve the title of the contact position to accurately identify the requirements of high resolution and design, the work is divided into multi-output power supply modules, voltage reference module , Wheatstone bridge modules , precision differential amplifier module, high-precision A / D module , controller module , display module. To minimize interference , the use of shielded wire as a signal line and a BNC connector ; bridge using a small value resistor (0.1 ohms, 0.5 ohms) to accurately reflect changes in resistance of the painted sheet , more measurement ; amplifier module using a high precision resistors to improve the performance of the differential amplifier , power amplifier in order to use a DC-DC module to provide positive and negative twelve volt power supply. The system uses a low-power high-precision reference source , low-power controller, reduce the power consumption of the system. Such a system can meet the requirements of high-precision, high-resolution , low power requirements .

Keywords: micro precision resistor bridge; differential amplifier; precision A/D converter; DC-DC power modules; median filter

0 背景

市场上的手绘绘图板都是采用的电容屏或者电阻屏, 而本系统采用普通 PCB 覆铜板作为手绘绘图输入设备, 材料简单, 价格低廉, 也能达到所需要的精度。

系统由尺寸为 15cm×10cm 的普通覆铜板组成, 其四角用导线连接到电路, 同时, 一根带导线的普

通表笔连接到电路。表笔可与覆铜板表面任意位置接触, 电路应能检测表笔与铜箔的接触, 并测量触点位置, 通过 LCD 显示出来进而实现手绘绘图功能。

利于该系统的测量原理还能测量金属设备的精确电阻值, 如飞机内部器件的电阻值等。

1 系统设计

*指导教师: 蔡靖

项目类型: 竞赛项目

1.1 整体方案

考虑到设计中高精度的要求，电路的电压变化极小，想要得到明显的结果，必须经过合适的处理。采用电阻桥式测压定位的方法。电阻桥是典型的差模信号传感器。电桥中的电阻设定为与手绘板电阻相近的阻值，这样手绘板的电阻变化时就会有较大的差模电压值，通过放大电路，信号处理，得到结

果。

全系统由一个稳定基准源给微小电阻电桥以及连接的覆铜板提供电压，将覆铜板接入电桥之中，覆铜板四角以及表笔触点位置变化时，覆铜板微小的电压变化利用电桥经过差模放大器放大，得到的信号经由 A/D 模块处理，最终得到题目要求的结果。

系统的流程图如下：

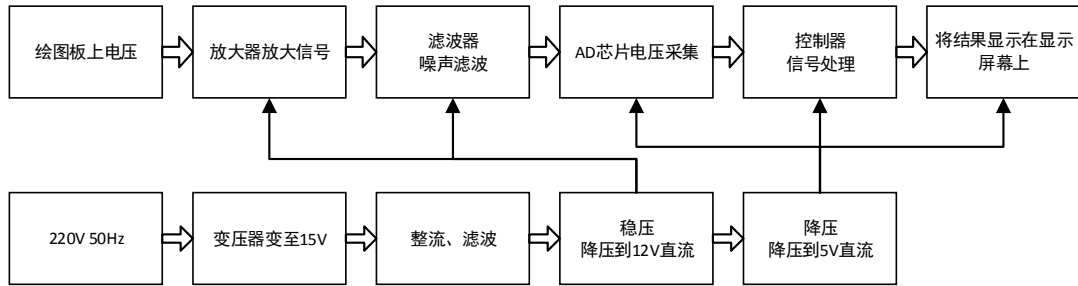


图 1 系统流程图

1.2 探测笔测量方案的论证与比较

待测量的微小信号如果受到干扰，再用放大器放大，则不能够准确的反映出当前值，如果使用示波器表笔，其导线的电阻是覆铜板的 7 至 8 倍，会对铜板的分压过大。而万用表笔抗干扰能力差，不适合使用。自制的手绘笔的电阻实测为 0.008 欧姆，更适合本方案。

探测笔制作方案如下：

1. 使用粗铜线作为笔芯，普通圆珠笔外壳作为笔壳。
2. 表笔与 ad 的接线使用粗及短的导线降低电阻，且关键部位使用 BNC 线以降低干扰。

1.3 基准源方案

使用可调稳压芯片 LM317 芯片的恒流源模式。LM317 是常用的可调稳压芯片，可以提供 1.2V~3.7V 的大范围的稳定电压，能够负载超过 1.5A 的电流，内部设有过热保护。

使用基准源模块效果好，但是条件有限，没有合适的基准源模块供选择。使用 LM317 芯片的基准源模式能够合适地负载电路，并提供稳定的基准源。

1.4 放大器选择

使用 OP37 作为放大器芯片。这种放大器的参数非常适合高精度仪器。它的失调电压小，精度高，低漂移，抗静电能力高，无需外补偿以及调零电路。

参数如下：

低噪声:80 nV 峰峰值(0.1 Hz 至 10 Hz)，3

nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (1 kHz)

低漂移:0.2 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

高速:17 V/ μs 压摆率，63 MHz 增益带宽

低输入失调电压:10 μV

出色的共模抑制比:126 dB(共模电压为 11 V)

高开环增益:1,800,000

在差分放大电路中，需要高精度高稳定的放大器，在外围电阻高的情况下，放大器的稳定是很重要的。采集的信号非常弱，如果有电路噪声干扰，则不能够实现功能。使用低噪声高精度的 OP37，是最为合适的选择。

1.5 A/D

使用 12 位 A/D 转换芯片 TLC2543。这是一种 11 通路模拟输入串行模数转换器。因为是串行输入，能够节省 51 单片机的资源；且价格适中，分辨率较高。

参数如下：

- (1) 12 位分辨率 A/D 转换器；
- (2) 在工作温度范围内 10 μs 转换时间；
- (3) 11 个模拟输入通道；
- (4) 3 路内置自测试方式；
- (5) 采样率为 66kbps；
- (6) 线性误差+1LSB (max)；
- (7) 有转换结束 (EOC) 输出；
- (8) 具有单、双极性输出；
- (9) 可编程的 MSB 或 LSB 前导；
- (10) 可编程的输出数据长度。

因为待测量信号变化区间不大，要求精密度较高，故需使用位数较高的 A/D 转换器。因为需测量的通路较多，故选择 TLC2543。

1. 6MCU 核心控制芯片

本系统选择 STC 公司的单片机 STC12C5A60S2 作为核心控制处理器。

在众多的 51 系列单片机中，要算国内 STC 公司的 1T 增强系列更具有竞争力，因他不但和 8051 指令、管脚完全兼容，而且其片内的具有大容量程序存储器且是 FLASH 工艺的，如 STC12C5A60S2 单片机内部就自带高达 60K FLASH ROM，这种工艺的存储器用户可以用电的方式瞬间擦除、改写。而且 STC 系列单片机支持串口程序烧写。显而易见，这种单片机对开发设备的要求很低，开发时间也大大缩短。写入单片机内的程序还可以进行加密，这又很好地保护了你的劳动成果。重要的一点 STC12C5A60S2 目前的售价与传统 51 差不多，市场供应也很充足。是一款高性价比的单片机

STC12C5A60S2/AD/PWM 系列单片机是宏晶科技生产的单时钟/机器周期(1T)的单片机，是高速/低功耗/超强抗干扰的新一代 8051 单片机，指令代码完全兼容传统 8051，但速度快 8-12 倍。内部集成 MAX810 专用复位电路，2 路 PWM，8 路高速 10 位 A/D 转换(250K/S)，针对电机控制，强干扰场合。

1. 增强型 8051 CPU，1T，单时钟/机器周期，指令代码完全兼容传统 8051；
2. 工作电压：STC12C5A60S2 系列工作电压：5.5V-3.3V(5V 单片机)STC12LE5A60S2 系列工作电压：3.6V-2.2V(3V 单片机)；
3. 工作频率范围：0 - 35MHz，相当于普通 8051 的 0~420MHz；
4. 用户应用程序空间 8K / 16K / 20K / 32K / 40K / 48K / 52K / 60K / 62K 字节；
5. 片上集成 1280 字节 RAM；
6. 通用 I/O 口(36/40/44 个)，复位后为：准双向口/弱上拉(普通 8051 传统 I/O 口)，可设置成四种模式：准双向口/弱上拉，推挽/强上拉，仅为输入/高阻，开漏，每个 I/O 口驱动能力均可达到 20mA，但整个芯片最大不要超过 55Ma；
7. ISP(在系统可编程)/IAP(在应用可编程)，无需专用编程器，无需专用仿真器 可通过串口(P3.0/P3.1)直接下载用户程序，数秒即可完成一片；
8. 有 EEPROM 功能 (STC12C5A62S2/AD/PWM 无内部

EEPROM)；

9. 看门狗；
10. 内部集成 MAX810 专用复位电路(外部晶体 12M 以下时，复位脚可直接 1K 电阻到地)；
11. 外部掉电检测电路：在 P4.6 口有一个低压门槛比较器，5V 单片机为 1.32V，误差为 +/-5%，3.3V 单片机为 1.30V，误差为 +/-3%；
12. 时钟源：外部高精度晶体/时钟，内部 R/C 振荡器(温漂为 +/-5%到 +/-10%以内)；
13. 共 4 个 16 位定时器 两个与传统 8051 兼容的定时器/计数器，16 位定时器 T0 和 T1，没有定时器 2，但有独立波特率发生器 做串行通讯的波特率发生器 再加上 2 路 PCA 模块可再实现 2 个 16 位定时器；
14. 2 个时钟输出口，可由 T0 的溢出在 P3.4/T0 输出时钟，可由 T1 的溢出在 P3.5/T1 输出时钟；
15. 外部中断 I/O 口 7 路，传统的下降沿中断或低电平触发中断，并新增支持上升沿中断的 PCA 模块；
16. PWM(2 路)/PCA(可编程计数器阵列，2 路)：——也可用来当 2 路 D/A 使用——也可用来再实现 2 个定时器——也可用来再实现 2 个外部中断(上升沿中断/下降沿中断均可分别或同时支持)；
17. A/D 转换，10 位精度 ADC，共 8 路，转换速度可达 250K/S(每秒钟 25 万次)18.通用全双工异步串行口(UART)，由于 STC12 系列是高速的 8051，可再用定时器或 PCA 软件实现多串口；
18. STC12C5A60S2 系列有双串口，后缀有 S2 标志的才有双串口，RxD2/P1.2(可通过寄存器设置到 P4.2)，TxD2/P1.3(可通过寄存器设置到 P4.3)；
19. 工作温度范围：-40 - +85℃(工业级) / 0 - 75℃(商业级)21. 封装：PDIP-40,LQFP-44,LQFP-48 I/O 口不够时，可用 2 到 3 根普通 I/O 口线外接 74HC164/165/595(均可级联)来扩展 I/O 口，还可用 A/D 做按键扫描来节省 I/O 口，或用双 CPU，三线通信，还多了串口。

2 电路设计

2.1 电源单元电路

考虑到题目中要使用单 12 伏特电源供电,设计

的电源模块包含变压、整流、滤波、降压、部分, 电路图如下:

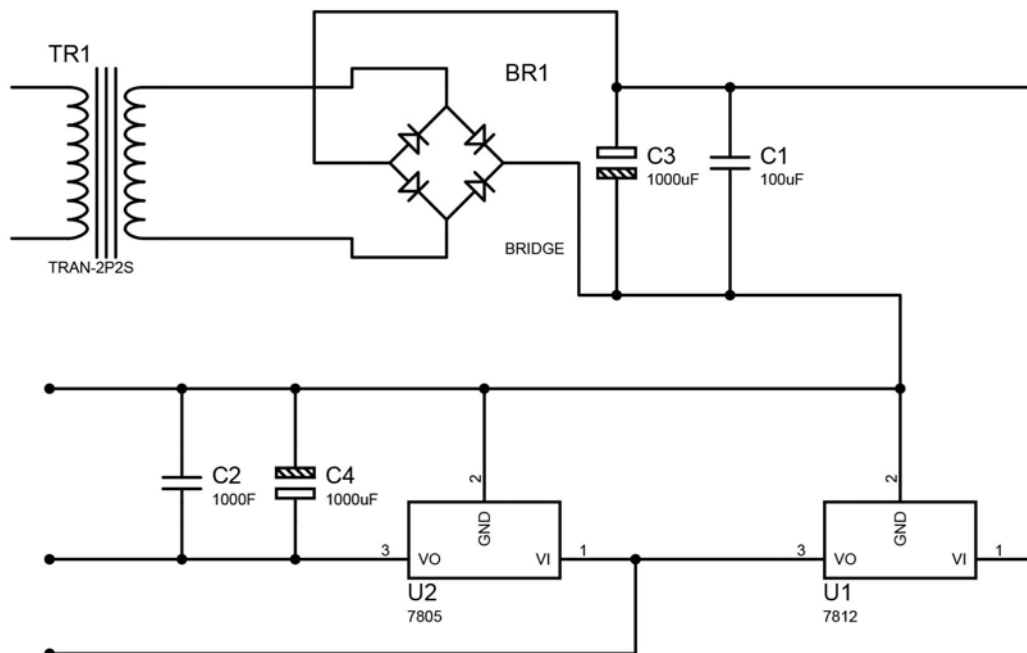


图 2 电源单元电路

因为 OP37 芯片需要正负十二伏供电, 而题目要求单十二伏供电, 故使用 DC-DC 模块转换双直流电源而给电路提供正负十二伏供电。

2.2 信号采集单元

本模块包含手绘笔, 电阻桥, 基准源组成。其中电压基准源使用 LM317 芯片:

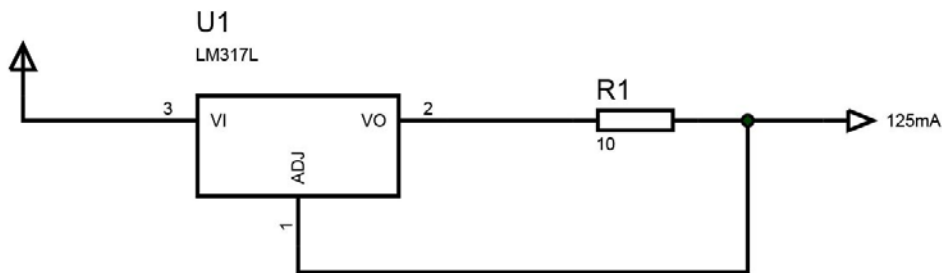


图 3 基准源单元电路

实测基准电流为 123 毫安。

2.3 信号处理单元

信号处理单元由差分放大器、滤波器、A/D 转换器和控制器组成。

差分放大器能够放大电阻桥阻值改变带来的微小电压差异。差分放大电路中确定增益的电阻需要很高的准确度, 市面上常见的电阻的精确度远远不够。为了使电阻阻值的准确度达到千分之一范围, 设计采用了市面上能够买到的高精度电阻, 阻值不

同的有着 0.3%到 2%的精度。使用数字电桥测量出阻值在误差范围内的几组电阻, 使实测误差在千分之二之内。

滤波器是由 OP37 组成的模拟滤波电路, 是一通带频率为 100Hz 的低通滤波器, 能够滤除高频率的噪声信号。

A/D 采用 12 位十一通路的 TLC2543。

整单元电路如下

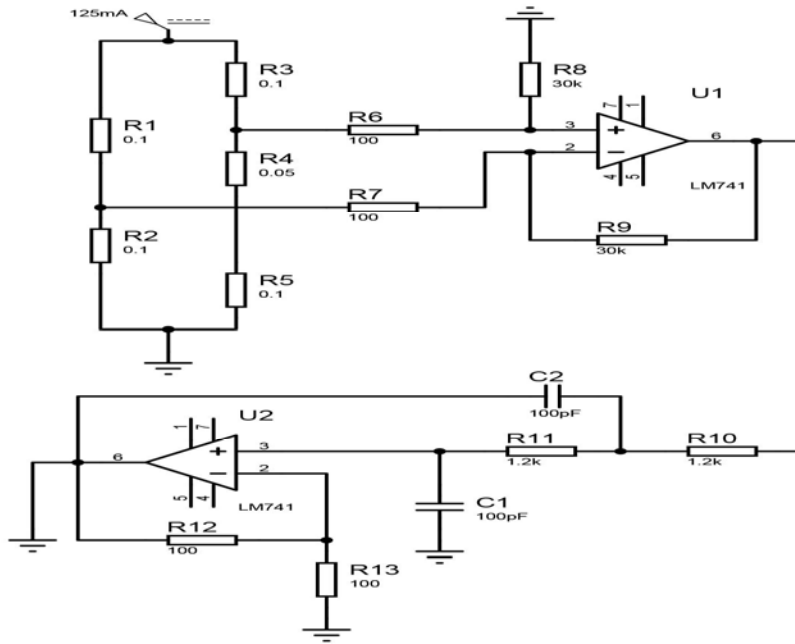


图 4 信号采集单元电路

控制器选择 51 内核的高速度、高容量的 STC12C5A60S2 芯片。控制器内置 33M 晶振，是普通 51 单片机速度的 8~12 倍。并且单片机具有低功耗模式，能够满足题目中的低功耗要求。

2.4 显示单元

显示单元由单片机控制的液晶显示屏 LCD12864。本系统中使用无字库的 LCD12864，在采集到手绘笔位置的信号时，能够在显示屏上显示位置坐标以及相应位置的画点。

2.5 控制器单元

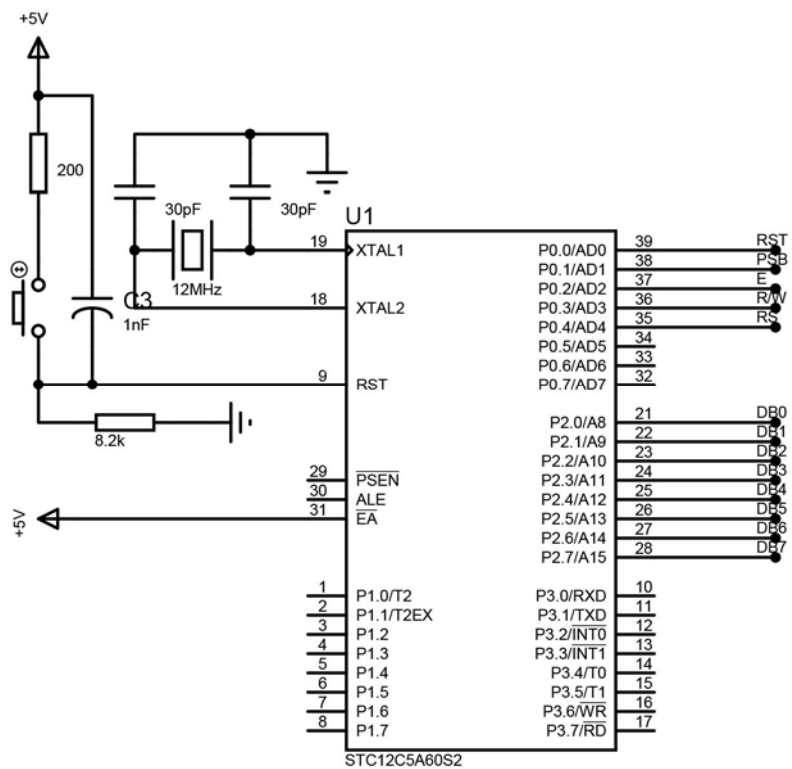


图 5 控制器单元电路

2.6 系统软件设计

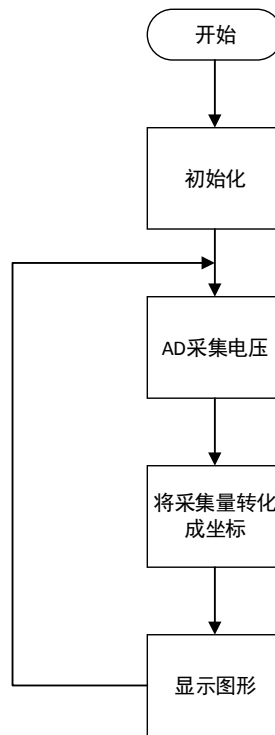


图 6 系统软件流程图

程序初始化部分包括 LCD12864 的初始化及各个变量的定义，然后在 12864 上显示坐标标识和图形显示界面。初始化完毕后一直循环 AD 采集并且对采集到的数据进行处理判断后在 LCD12864 上显示表笔是否接触铜箔表面，触点位于纵坐标左右的位置，触点所处的象限，触电的坐标值并可以绘制出触点在同比例 LCD 屏上的位置。

AD 采集部分对采集到的数据首先进行一阶惯性滤波，然后取 50 个滤波后的数据去掉最大值和最小值后进行算术平均值运算，最后对同样处理后的数据采集 10 次后取中位数作为最后的数据。该采集方法采用了低通滤波、去脉冲滤波、算术平均值滤波和中位数滤波，这种复合滤波法能有效的去除各种脉冲和噪声的干扰，得到准确的数据。

2.7 可靠性、抗干扰性设计

系统的抗干扰能力是系统性能的重要指标。系统采集到微小的电压信号，如果受到干扰，会对信号处理的准确性产生很大影响。为了减少干扰，系统使用了噪声小的放大器，稳定性高的基准源。信号线以及接地线使用尽量粗的导线，并使用屏蔽线作为信号线以及 BNC 接头，能够很好地屏蔽信号线的信号干扰；多处使用电容耦合接地的方式实现干扰信号的消除。

系统的软件设计同样能够提高系统的可靠性。利用中值滤波的方式，并对采集到的信号进行均值处理，将大小居中的信号作为结果输出。

2.8 低功耗设计

系统的显示部分功耗降低方法不易实行，系统通过降低控制器的功耗、优化电路结构等方式降低系统的功耗。

系统的控制器选择具有低功耗模式的单片机，并使用其低功耗模式，在不需要的时候可以最大的降低其耗能。系统的测试电路部分使用精简的电路结构，在电流源恒定的时候，尽量减少电路内阻，并且使用小电流、低功耗的基准源，以解决功耗过大的问题。

3 测试结果及分析

3.1 电路理论计算及仿真结果

测试得到覆铜板两对角间电阻阻值约为 0.0440 欧姆，表笔粗铜线的电阻为 0.008 欧姆。故仿真中设为 0.05 欧姆，电阻桥中电阻阻值为 0.10 欧姆。放大器设置为一级放大，一级跟随，总放大倍数为三百倍。设计的滤波器放大倍数为两倍；基准源使用实测值 123.42mV。

A/D 供电电压为 5V, 则可计算芯片测量精度为

$$5V/2^{12} = 0.00122V = 1.22mV$$

仿真得到放大得到的信号在手绘板阻值在 0 至 0.05 欧姆变化时有 0.40 伏特左右的浮动, 这个信号变化能够被 A/D 采集处理, 并且精度能够达到要求。

3.2 系统坐标点测量方法及结果

系统放大滤波部分设有两个相同的电路, 对覆铜板进行两处相对的测量, 使用 A/D 进行两路的测量得到一组两个不同的信号送至控制器。这两个信号能够确定唯一的一个位置。测量实验中, 先将每

隔 1cm 的若干个点进行电压采集, 观察数值的变化规律, 这样就能够确定控制器的位置计算方法, 从而确定需要的位置数据。

测试结果发现, 某一对角线等距测压得到的电压数据不是线性的, 但是是单调的。可以根据单调性确定一个最相近的一次函数, 从而确定一组位置数据。

3.3 系统测试方法及结果

系统通过多次表笔的随机触摸, 进行多次的坐标位置测量以及象限的位置确定。并列表格观察系统的准确程度。测试结果如下:

表 1 象限功能实测

象限\次数	1	2	3	4	5
实际	2	1	1	3	2
反馈	2	1	1	3	2

表 2 坐标位置实测

位置\次数	1	2	3	4	5
实际	(3.2,1.8)	(-2.7,4.2)	(-1.4,-5.6)	(2.1,-7.0)	(-4.5,3.8)
反馈	(2.8,1.0)	(-2.1,4.5)	(-0.7,-6.2)	(1.3,-6.4)	(-3.8,4.3)
误差距离	0.9	0.7	0.9	1.0	0.9

系统能够对手绘笔的位置变化进行明显的反应, 并能够以一定精度确定触点象限、触点坐标值, 测试的结果满足题目的要求。

3.4 误差分析

系统的误差主要来源于以下几点:

- (1) 一: 覆铜板随时间变化而造成的氧化程度不同带来的阻值的变化以及覆铜板密度不均匀在成的电阻率不均匀。虽然只能带来微小的误差, 但是对于一个微小的电阻模型, 这一误差是不可忽视的。解决办法是更换新的覆铜板。
- (2) 电路的噪声是不能做到完全消除的, 这样会使取样的电压造成波动, 就会造成结果不准确。解决办法是优化电路, 设计多种抗干扰降噪电路。
- (3) 电桥的稳定、表笔电阻、差分放大器电阻的误差是系统误差的来源之一, 不足精度的电阻会对放大效果影响较大; 由于铜板本身属于微小电阻, 表笔的分压也是影响系统功能的一项重要误差。解决的办法就是使用尽可能短的导线、尽可能精细的电阻。

系统本身属于电子技术中测量细微电阻变化领域中的问题。所以对电路本身稳定性、电路结构等要求很高。采用高精度的电路结构以及简洁的检测部分, 确保了系统的稳定性。这样的系统能够实现所需功能。

为了能够实现更好的效果, 可以通过彩屏显示、电路板集成化等。提高基准电压的稳定与准确性, 也是必要的一部分。软件方面, 简化算法与将计算方式等, 能够加快系统的反应速率, 也能够体现好的效果。

参考文献

1. 谢自美. 电子线路设计(第二版)[M].武汉: 华中科技大学出版社. 2000
2. 林占江. 电子测量技术(第二版)[M].电子工业出版社. 2007
3. 刘志存. 《微小电阻测量方法及关键技术》物理测试[M] 2005 年第一期
4. 程德福 林君. 智能仪器 机械工业出版社[M] 2009.8
5. 康华光. 电子技术基础模拟部门[M].5 版. 北京: 高等教育出版社.2005/

4 结论

6. 晨曦. 放大器[M]. 北京: 中国商业出版社.2006.
7. 黄智伟. 全国大学生电子设计竞赛系统设计 [M].2 版. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
8. 喻金钱,喻斌.STM32F 系列 ARMCortex-M3 核微控制器开发与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
9. 谢时光. “CG”线描绘画的基本原理与创作实现途径[J]. 大众文艺, 2012, (17): 85
10. 樊东. 基于 STM32F10X 的手绘绘图板的研究[J]. 电子制作, 2013, (19): 1-2

基于单片机的可控温智能多功能安全饮水机*

段清明； 彭醒醒； 杨开琦； 林洁

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 吉林 长春 130021)

摘要: 目前市场上的传统饮水机功能比较简单, 存在很多不足之处, 给我们的生活带来诸多不便。因此, 我们设计了智能、省电、安全的饮水机。本项目采用单片机控制饮水机工作, 键盘设定加热温度以及加热时间, 六位连锁开关选择档位, 饮水机内部冷热水分箱储存杜绝阴阳水的产生; 水压传感器接在内胆的进水口用来感应水位, 当水位过低则采取防干烧措施, 在设定时间内若长久无人操作, 自动跳转低温模式实现节能, 防止千滚水的产生; 液晶显示当前时间、加热时间, 当前档位、以及设定的温度。这款饮水机实现节能智能一体化, 为人们日常生活带来方便。

关键字: 温度设定; 多档位模式; 节能安全; 自动控制

中图分类号: TG156 文献标识码: A

An intelligent and safer design of multi-function temperature adjustable water dispenser

Peng Xing-xing, Yang Kai-qi, Lin jie, Duan Qing-ming

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

Abstract: In view of the shortcomings in the traditional water dispenser, this paper provides a smarter and more energy-efficient design. In this design the controller of water dispenser was MCU, the sensor of water temperature was DS18B20, and the keyboard and six-interlock switch were used as human interface device to set water temperature and choose operation modes. All of this information was showed by LCD. Two cans were needed to store the raw water and boiled water. The volume of the water in the cans determined by sensor was used to choose operating modes, automatic power off mode for shortage of water and automatically mode switch for unattended time. The experimental results show that this design can meet the demands of friendly operation interface, energy-saving and intelligence.

Keywords: Temperature setting; Multilevel model; Energy saving and safety; Automatic control

0.引言

饮水机在我国已成为家庭、办公场所不可或缺的电器, 国内、国际市场潜力巨大。但传统饮水机在接热水的时候, 冷水直接进入加热箱, 使得饮水机加热的频率增加很多。耗费大量电能同时也因冷热水混合形成阴阳水。饮水机在打开电源后, 不管白天还是晚上, 房内有没有人, 饮水机一直处于加热保温状态。纯净水被长时间反复加热, 形成了千滚水。三是一般的饮水机都是靠

手动阀门出水的, 易造成病毒交叉感染。四是生活中所用的的饮水机普遍来说加热温度大多是不可选择的, 没有实时温度显示。而在生活中对不同用途的水, 例如泡方便面, 冲泡咖啡等温度也是不同的, 这就给日常生活造成不方便。五: 饮水机长时间处于保温加热状态会造成空烧, 而我国家用饮水机使用量巨大, 空烧可能会导致火灾事故, 也会浪费大量电能。而且通常接入电源饮水机就处于工作状态, 这时如果有儿童碰触可能会造成烫伤等不安全事故。

为实现智能, 省电, 健康的饮水机设计, 本

*指导教师: 段清明

项目类型: 创新项目

项目采用单片机控制饮水机工作，采用 DS18B20 数字温度传感器对温度进行采集，采用数码管显示，饮水机内部冷热水分装水箱杜绝阴阳水，压力传感器接在水箱下面测量水量以达到防干烧功能，在设定时间内若无人操作，自动跳转低温模式实现节能，为人们日常饮水带来方便。

1 系统设计

可控温智能安全饮水机是集温控、水位控制、实时显示、安全智能等技术一体化的产品。系统分自动控制 and 人为控制两大部分，可完成对温度的设置、检测、显示，水位的检测、显示、特定水位的系统特定响应，档位的设定与智能跳转等任务。饮水机主体部分具有完善的监控系统、显示系统、自动控制能力以及可靠的执行机构。其系统组成框图如图 1 所示。

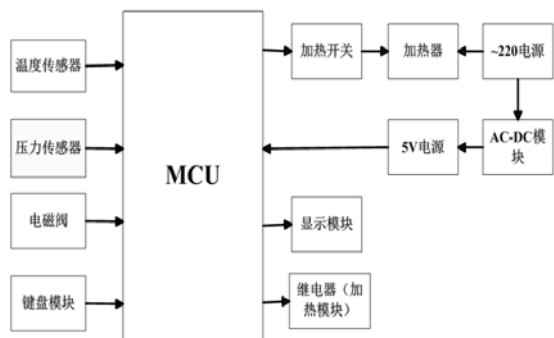


图 1 饮水机系统结构框图

Fig.1 Water machine system block diagram

2 饮水机硬件设计

2.1 防干烧装置的设计

把应变式压力传感器安装在水箱下面，利用应变式压力传感器测量出水箱没有加水时的重量，再测出加满水时的重量，把重量差当成处理的对象，当重量差低于 5% 时送给微处理器一个缺水信号，此时处理器则发出信号给电磁阀，电磁阀打开进水口，把储水箱加满水。当压力传感器测得水箱的水加到 95% 以上则送给微处理器一个满水信号，关闭进水阀。如果水位低于 5% 一段时间仍无进水响应则表示此时水箱储水已无，则系

统自动断电。如图 2 为重力测量电路。

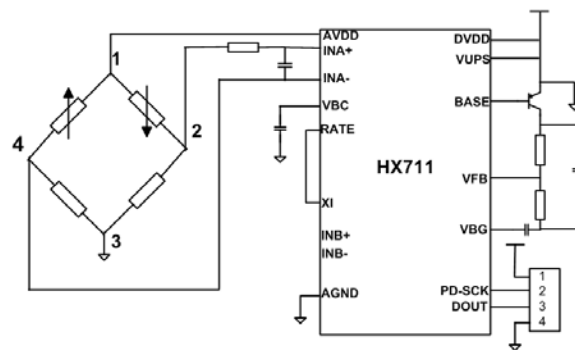


图 2 测重力原理图

Fig.2 Gravity measurements schematic

2.2 温度采集部分及多个温度模式设置

温度传感器采用单总线方式的集成数字温度传感器 DS18B20。DS18B20 有三条管脚，接地脚，电源脚，数据脚。DS18B20 的电源可以由数据线本身提供而不需要外部电源，与 MCU 通讯仅需一条数据线，所以占用 MCU 管脚很少。DS18B20 的测量范围从 -55 摄氏度到 +125 摄氏度，增量值为 0.5 摄氏度，可在 1s 内把温度变换成数字，精度和速度也符合设计要求。

温度按键为独立式按键可以具体到设定某个温度。采用六位连锁开关实现多个温度模式设置。此饮水机还有智能温控系统，当长时间无人操作系统也能自动跳到低温模式，如房内无人或者夜间未关电源时，不会长时间加热水，可节约大量能源。具体情况如下表 1 所示。

表 1. 工作模式

Table1. Temperature modes

名称	APO	饮用	蜂蜜	奶粉	咖啡	茶水
温度	关	45℃	55℃	65℃	85℃	95℃

2.3 双水箱设置及感应出水

该饮水机设计采用双储水箱，把冷水与热水分箱储存。只有热水储水箱有加热装置，当储热水水箱水位低于设定的水位线时，冷水水箱自动补给，直到加满为止。其特征在于：防止人们在接热水的同时冷水混入产生阴阳水。

饮水机出水不仅可以手动按键控制，而且设计了由光电传感器感应系统控制。将水杯杯底放在底座上相应的位置，杯身遮挡光电传感器，传感器把感应到的反射信号送入单片机，单片机发出信号启动继电器，打开电磁阀放水。放水的时间实时设定，当达到预设时间则断开继电器电路，

水阀弹回原位，关闭出水口，报警转置发出响声。感应出水电路如下图 4 所示。

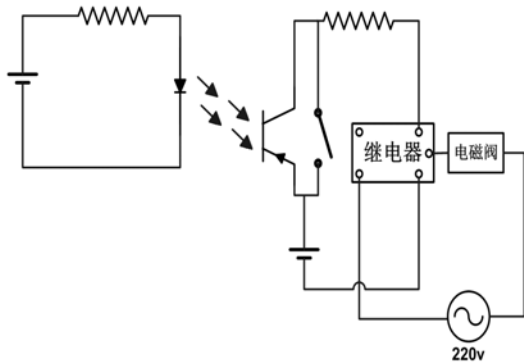


图 4 控制出水电路原理图

Fig 4 Water flow Control circuit Schematics

2.4 显示模块

利用数码管显示实时水温。74LS48 用作段选锁存器驱动数码管，实现数码管的动态显示。利用液晶屏显示日历、设定的温度、设定的时间及工作模式。液晶屏由 74LS164 驱动，实现串转并输出，节省管脚资源。

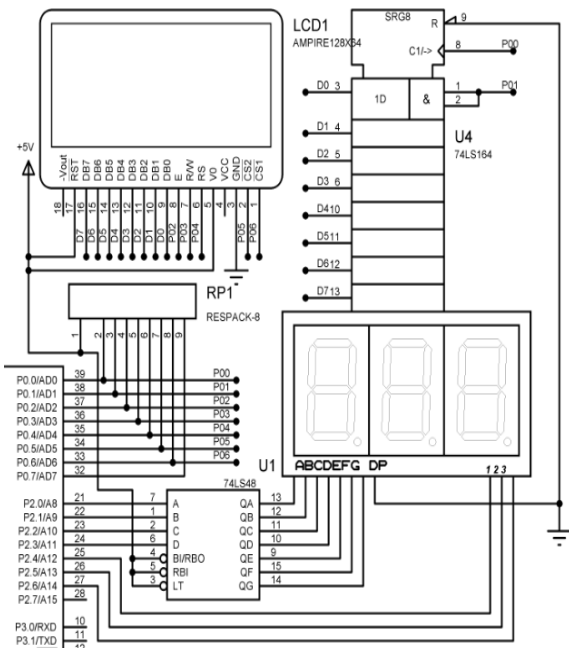


图 4 温度显示电路图

Fig.4 The circuit of display part

3 软件设计

主控制器的程序流程图如图 3 所示。

主控制器的程序流程图主要包括模块初始化、检测水位和温度、检测水杯、处理和显示等组成，主要任务是将传感器传来的数字信号进行处理，以满足设定的模式。

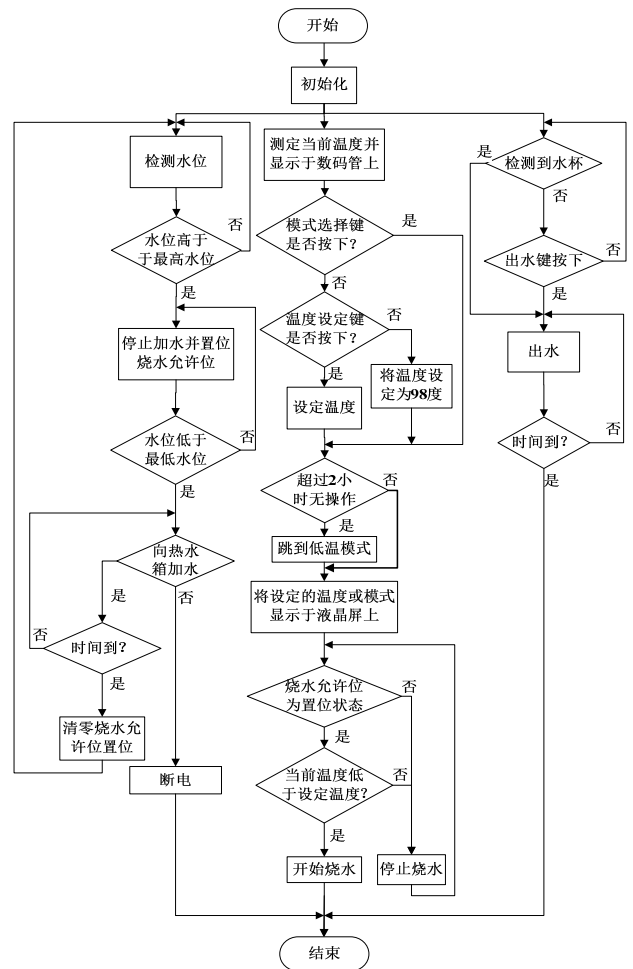


图 3 软件流程图

Fig.3 Software flow chart

4 实验结果分析

为了检验本设计的优劣，对本设计的饮水机进行对加水时间、水位测定误差、加热时间和跳闸温度测量。测量时用天平每杯水质量为 160 克，测量时间用秒表，水位用刻度尺，测得数据见表 2。

从实验数据看，本设计的计算机控制饮水机中水位传感器水位测定、进水电磁阀开启和关闭、断电跳闸温度的误差都在正常值之内。

表 2 测量数据表

Table 2 Measurement data sheet

进水水位	响应时间	设定温度	响应温度	自动出水量
5%	1.0s	95℃	95.0℃	200ml
6%	1.2s	95℃	94.5℃	198ml
5%	1.1s	95℃	95.3℃	199ml
5%	1.8s	95℃	95.2℃	202ml
5%	1.0s	95℃	95.3℃	200ml
5%	1.1s	95℃	95.3℃	205ml
3%	1.5s	95℃	95.2℃	198ml

5 结论

该设计以 STC89C52 作为微控制器,以数字温度传感器 DS18B20 作为温度采集设备,当温度达到设定温度时蜂鸣器报警,超时便进入低温模式,若长时间无人操作便自动切断电源,以降低电能消耗达到节能的目的。温度的设定不仅有五个档位的简洁模式也可以自行设定任意温度,给人们带来极大的方便。采取双水箱分别放置冷热水。控制固态继电器 SSR-IOA 对加热管进行加热,加热时与冷水箱不连通的,不会出现传统饮水机边加热边有冷水流进加热水箱的现象,提高了加热的效率,节约了电能。压力传感器作为水位采集手段,当检测到水位低于 5%一段时间仍无进水响应则进行自动断电以防内胆出现空烧。显示采用液晶来显示按键设定的温度模式,加热模式,数码管显示水箱实时温度。该饮水机的设计安全,智能,并且更加人性化。

参考文献

1. 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.

2. 张福学. 传感器应用及其电路精选[上册][M]. 北京:电子工业出版社, 1991.
Zhang Fuxue. Sensor application and circuit selection [volume one][M].Beijing: Publishing House of Electronics Industry,1990.
3. 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 University Press,2010.
4. 袁小平. 饮水机节能可以实现智能化[J]. 现代家电, 2008(19): 63
Yuan Xiaoping. Intelligent energy-saving water dispenser can be achieved [J].Modern Household Appliances,2008(19):63.
5. 刘华东, 张亚华. 单片机原理与应用(第二版)[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.
Liu Huadong, Zhang Yahua. The principle and the application of single chip microcomputer(the second edition) [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2006.
6. 林奇盛, 熊器, 彭伟强. 基于单片机的饮水机温控系统的设计 [J]. 电子世界, 2012(3):39-42+45.
Lin Qisheng, Xiong Qi, Peng Weiqiang .The design of the water dispenser temperature control system based on single chip microcomputer [J].E-World,2012(3):39-42+45
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. 求是科技. 8051 系列单片机 C 程序设计[M]. 北京:人民邮电出版社, 2006.
Qiu Shi science and technology. 8051 series microcontroller C language programming

[M].Beijing:Posts & Telecom Press,2006.

9. 赵建领, 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.
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.
12. 张毅刚, 彭喜元, 彭宇. 单片机原理及应用[M]. 北京:高等教育出版社, 2010.
Zhang Yigang, Peng Xiyuan, Peng Yu. The principle and the application of single chip microcomputer [M].Beijing: Higher Education Press,2010.
13. 薛小铃, 刘志群, 贾俊荣. 单片机接口模块应用与开发实例详解[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2010.
Xue Xiaoling, Liu Zhiqun, Jia Junrong.Single chip microcomputer interface module application and development of example explanation [M].Beijing: Beijing university of aeronautics and astronautics press,2010.

微动信号波形特征自动分析系统设计*

周晓华; 王晓丹; 贾芳芳; 刘南南

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 吉林 长春 130021)

摘要: 微动中携带着与地壳浅部介质密切相关的信息, 可以利用微动进行场地评价、无损检测等。为了方便在野外微动勘探实验中进行现场整理数据及波形特征分析等, 设计一种微动信号波形特征自动分析系统。该系统采用数学计算软件 MATLAB 编写相应程序实现对微动信号记录数据进行异常特征拾取、记录、分析等功能, 可以对信号特征波形进行量化处理、自动拾取, 对微动信号进行幅频分析, 自动生成相关数据分析文件和结果图形。应用结果表明微动信号波形特征自动分析系统能对微动信号进行相关的数据分析, 可以满足用户的实际需求。

关键词: 微动信号 波形特征 自动分析 MATLAB

The Microtremor Characteristic Waveform Automatic Analysis System Design

ZHOU Xiao-hua ;WANG Xiao-dan; JIA Fang-fang; LIU Nan-nan

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

Abstract: The microtremor carried information closely related to the shallow crust media, and we can take advantage of the microtremor to do site evaluation and nondestructive testing, etc. We design a microtremor characteristic waveform automatic analysis system, for the convenience of field data scrapers and waveform characteristic analysis in the field microtremor exploration experiment, etc. The system apply to mathematical software MATLAB to write the corresponding program to microtremor anomaly characteristics of the signal recorded data to collect, record, analysis, etc. The signal characteristic waveform quantization processing, characteristic waveform automatic picking can be realized. The waveform amplitude spectrum analysis, automatic generation of the data file and results graphics can be automatically generated. The application results show that micro signal waveform characteristics of the automatic analysis system can analysis of micro signal, which can meet the actual needs of users.

Keywords: micro signal; waveform characteristics; automatic analysis; MATLAB

0 前言

微动是地球表层时刻存在的微弱振动, 主要由人为因素和自然因素等随机源引起。研究表明, 微动中携带着与地壳浅部介质密切相关的信息, 可以利用微动进行场地评价、无损检测等。由于微动本身具有一些优良特性, 人们不断采集微动数据, 并对其进行分析。但是, 实验获取的数据不易进行处理。例如, 随着地震观测数字化进程的不断发 展, 以及地震仪器的大动态、宽频带、高灵敏度的特性。使地震观测数据中包含了大量地壳活动的信息。在日常的地震监测中发现大地震前微动存在着异常变化, 在研究过程中需要对大量的地震记录数据进行浏览分析, 这样既费时

又费力。目前国内外学者对其进行多方面的研究, 也提出了各种数据处理方法, 但尚未有完善的微动信号波形特征分析软件或即使有也没进行系统的整理并形成软件。鉴于此, 本文总结微动数据的波形特征及相关处理方法并编写相应程序, 应用数学计算软件 MATLAB 对微动信号记录数据进行自动异常特征拾取、记录、分析, 并编制相关软件, 具有形象、直观、可扩展性, 为后续信号处理等提供技术支撑。自动分析系统可以广泛的应用于地学, 医学, 军事, 经济等领域, 因此拥有广泛的应用前景。

1 系统总体设计

*指导教师: 周晓华

项目类型: 创新项目

本文所设计的微动信号波形特征自动分析系统，由微动信号采集模块、归一化处理模块、求取功率谱模块、求取交互谱模块和空间自相关系数模块组成，系统总体结构图如图 1 所示。微动信号采集模块用来采集实验测得的微动信号数据，将这些数据读取到程序里，从而进行数据处理。归一化数据处理模块就是对数据进行归一化处理，使数据归一化分布在 $[-1, 1]$ 区间内。求取功率谱模块可以方便对数据能量的分析，是数据分析的重要依据。求取交互谱模块即求取交互谱，并进行平滑处理。空间自相关系数模块得到空间自相关系数随频率的变化曲线。空间自相关系数用来确定频率点是否在空间上相关，其相关程度如何。

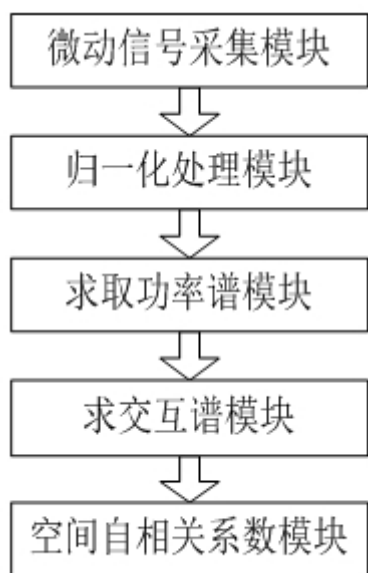


图 1 系统总体设计框图

2 软件设计

2.1 微动信号采集模块

利用测量设备，收集在不同地理位置实测得到的微动信号特征数据。就一点数据处理举例，如图 2，我们分析 1546 号数据波形特征，通过测量可以知道 1546 号、1645 号、1636 号、1654 号、1606 号、1628 号和 1651 号数据特征值。我们要处理很多数据，所以我们编写一个数据读取函数，通过函数调用，可以处理不同的信号特征数据。我们将实验采集的信号特征数据存储，通过程序编写，对已有数据采样，这样便实现对实验数据的读取。

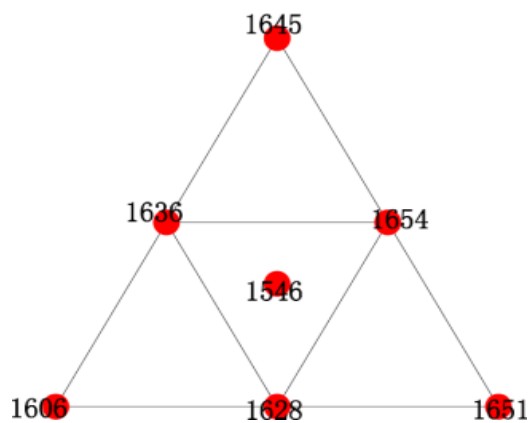


图 2 微动信号采集示意图

2.2 归一化处理模块

对读取的数据进行归一化处理，方便接下来的数据处理。matlab 中的归一化处理有三种方法，我们用 premnmx 语句进行归一化。premnmx 语句的语法格式是 $[Pn, minp, maxp, Tn, mint, maxt] = \text{Premnmx}(P, T)$ ，其中 P, T 分别为原始输入和输出数据， $minp$ 和 $maxp$ 分别为 P 中的最小值和最大值。 $mint$ 和 $maxt$ 分别为 T 的最小值和最大值。premnmx 函数用于将网络的输入数据或输出数据进行归一化，归一化后的数据将分布在 $[-1, 1]$ 区间内。

2.3 求取功率谱模块

定义采样频率、观测半径，利用 freq 函数求频散曲线频率点，利用 length 函数求取频散曲线的数据点数，调用自定义的数据读取函数读取中心测点的微动信号数据，后存放中心测点的观测数据，求取观测数据长度，定义观测数据的时间向量。对观测半径为 200 米的数据进行处理，首先读取观测半径为 200 米的圆周上的数据，从实测数据 re-001、re-005 和 re-007 得到频散曲线。利用同样的方法再读取和处理半径为 100 米圆周上的数据。再利用函数对数据进行归一化处理，读取不同长度的基本数据段，求取相应数据段的功率谱，如图 3。

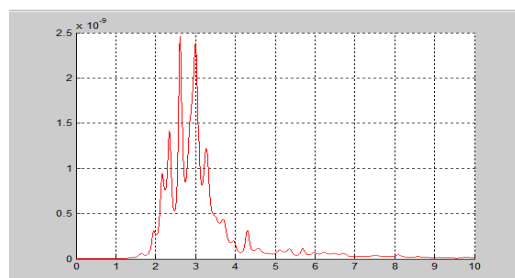


图 3 数据段功率谱

2.4 求交互谱图模块

计算要平滑的数据点数，设置 0.1Hz 平滑窗

口, 不同功率谱经 0.1Hz parzen 窗平滑处理, 显示平滑后的功率谱。令中心点和周围点的基本数据段互谱, 显示互谱图, 最终得到交互谱图和交互谱经 parzen 窗平滑处理后的对比图, 如图 4。

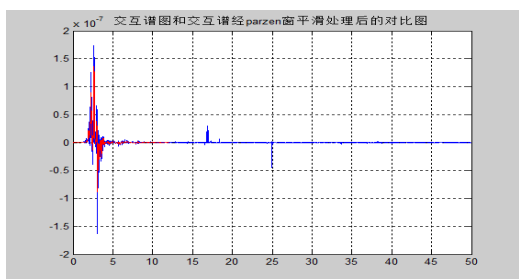


图 4 交互谱图和交互谱平滑处理后的对比图

2.5 空间自相关系数模块

设置0.1Hz平滑窗口, 计算要平滑的数据点数, 将得到的交互谱分别做parzen窗平滑处理, 显示平滑后的交互谱。第一次循环把存放功率谱和交互谱累加值的空间清零, 把基本数据段得到的互谱累加作为最终的互谱, 把基本数据段得到的功率累加作为最终的功率谱。用平均的功率谱和互谱计算空间自相关系数, 取出要得到的频率点的空间自相关系数, 绘制空间自相关系数随频率的变化曲线。通过观察空间自相关系数, 取比较理想的频率段, 如图5。采用多项式拟合进行数据平滑, 绘制平滑后的空间自相关系数随频率的变化曲线, 如图6。采用多项式拟合进行数据平滑, 空间自相关系数和Bessel函数进行拟合, 由拟合的结果得到瑞雷波各个频率点的传播速度。

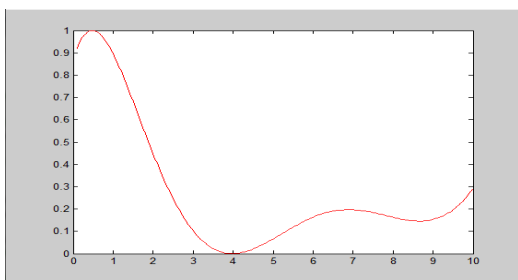


图 5 比较理想的频率段线

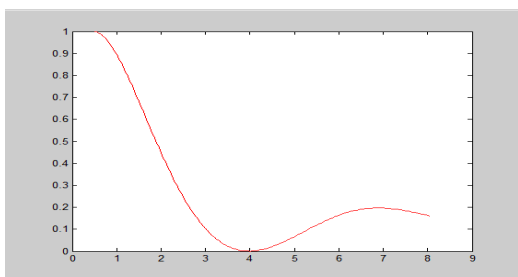


图 6 平滑后空间自相关系数随频率变化曲线

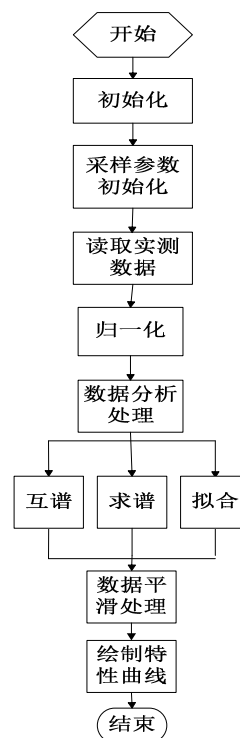


图 7 数据频谱分析流程图

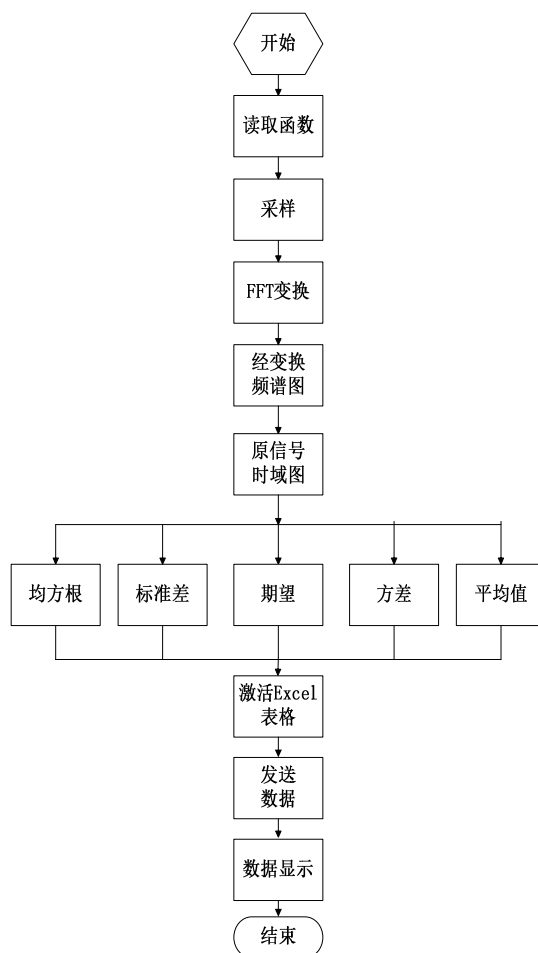


图 8 数据特征测试程序流程图

3 软件测试结果

3.1 采集信号

利用数据读取函数导入实测信号，采用统计方法检验信号的稳定性等。本次测试以在天津采集的实测信号数据为测试信号数据。天津采集的实测信号共有三组数据，分别为第一道东西、第二道南北和第三道垂直数据。每道数据又分为 14 组实测数据，共 42 组数据。分别检验信号幅度(原始记录)：观察幅值变化的情况，判断其改变的剧烈程度，利用

$$V_{\text{电压值}} = V_{\text{原始采样值}} * (2.45/6102081) \quad (1)$$

公式进行换算，式中 $V_{\text{原始采样值}}$ 是电压原始采样值， $V_{\text{电压值}}$ 是换算后得到的电压值，这样通过公式把纵坐标换算到微米数量级。

通过数据采集模块调入野外实验获得的微动实测信号，采用公式(1)对幅值进行转化后，其中一测点的信号记录如图 9 所示。

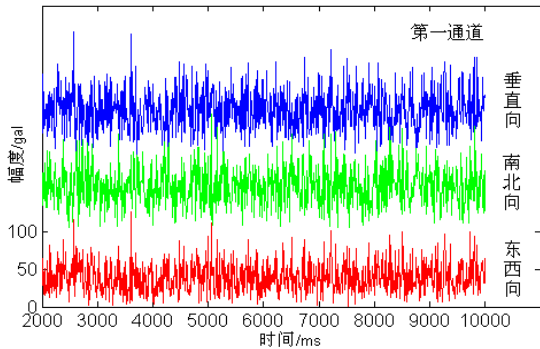


图 9 测点的实测信号记录

3.2 数值结果

采样间隔取 20ms，分别对天津实测的 42 组数据进行采样。本文分别取在天津实测的第一道东西、第二道南北和第三道垂直数据中的三组数据，计算实测数据的均方根值、标准差、方差值、期望值和平均值，并列表 1 进行比较。从数据计算上可以判断非平稳性。

表 1 数据特性曲线

	第一道东			第二道南			第三道垂		
	1组	2组	3组	1组	2组	3组	1组	2组	3组
均方根	6000.	3600.	13441	5996.	3787.	1836	7298	4270	3241
方差	07033	86028	.8969	11194	18205	5.32	.267	.994	6.18
标准差	08725	15813	05322	61330	56048	4621	7834	6594	6680
期望	2	3	2	9		8043	6376	1756	383
平均值	6000.	3600.	13441	5996.	3787.	1836	7298	4270	3241
方差	07531	86327	.9080	11690	18521	5.33	.273	.998	6.21
标准差	69578	85328	71895	88223	15831	9904	8529	2185	3691
期望	5	8	9	9	8	671	9649	8118	5011
平均值	36000	12966	18068	35953	14342	3372	5326	1824	1050
方差	903.8	216.3	4892.	417.9	771.8	8570	4801	1425	8109
标准差	09166	50686	61330	84265	26834	9.81	.233	.783	10.0
期望	-0.40	0.164	-0.97	-0.63	0.008	-0.8	-0.4	-0.0	-0.3
平均值	95833	97333	03066	92633	685	9050	2483	0495	9483
方差	3	33333	66666	33333		5	6666	6666	
标准差	-0.40	0.164	-0.97	-0.63	0.008	-0.8	-0.4	-0.0	-0.3
期望	95833	97333	03066	92633	685	9050	2483	0495	9483
平均值	3	33333	66666	33333		5	6666	6666	

3.3 信号谱分析

由图 9 可知，以第一道东西第一组数据的时间域曲线图为例可以看出其幅值的非平稳性。图 10 为经 FFT 变换后的信号频谱图。

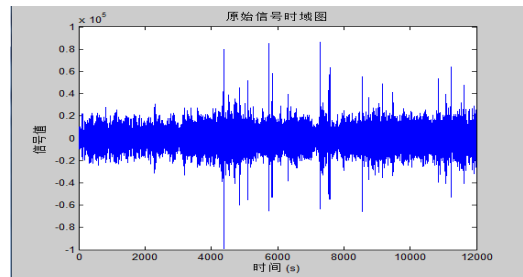


图 9 原始信号时域图

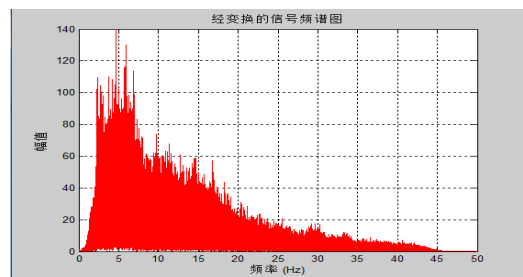


图 10 经变换的信号频谱图

4 结束语

本文设计了微动信号波形特征自动分析系

统, 实现了应用计算机自动对微动信号记录数据进行异常特征拾取、记录、分析, 形成微动信号特征波形自动分析系统, 使得长时间连续观测到的数据得以及时处理, 简单方便, 省时省力。通过编写不同函数来求取不同数据规律, 进而分析微动信号的主要特征, 为表征场地动力学特性提供技术参考, 可应用于勘探、地震监测、房屋建设和地层结构等研究。

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. 李杰, 多道瞬态瑞雷波数字处理软件及其应用研究[J], 中国地质大学硕士学位论文, 2010。
Li Jie, The Study of Digital Processing Software and Application in Multi-channel Transient Rayleigh Wave Data [D], Master Degree Theses of Master of China University of Geosciences, 2010.
3. 王小平, 曹立明, 遗传算法-理论、应用与软件实现[J], 西安, 西安交通大学, 2002。
Wang Xiaoping, Cao Liming, Genetic Algorithm Theory, Application and Software Implementation [J], Xi 'an, Xi 'an Jiaotong University, 2002.
4. 许社教, 虞柏青 计算机绘图[M], 北京, 电子工业出版社, 2003。
Xu Shejiao, Yu Baiqing, Computer Graphics [M], Beijing, Publishing House Of Electronics Industry, 2003.
5. 孙祥, matlab7.0 基础教程[M], 北京, 清华大学出版社, 2005。
Sun Xiang, Matlab7.0 Guide Basis [M], Beijing, Tsinghua University Press, 2005.
6. 熊章强, 浅层地震勘探[M], 北京, 地震出版社, 2002。
Xiong Zhangqiang, Shallow Seismic Exploration [M], Beijing, Seismological Press, 2002.
7. 宋先海, 瑞雷波频散曲线正反演研究[J], 武汉, 中国地质大学, 2001。
Wang Jiaying, Geophysical Inversion Theory [M], Beijing, Higher Education Press, 2001.
8. 王家映, 地球物理反演理论[M], 北京, 高等教育出版社, 2001。
Wang Chaofan, Zou Guigao, Liu Jinguang, Zhao Yonggui, Application of Multi-channel Transient Rayleigh Wave Exploration Study [J], Beijing, Geological Sciences, 2002.
9. 王超凡, 邹桂高, 刘金光, 赵永贵, 多道瞬态瑞雷波的勘探应用研究[J], 北京, 地质科学, 2002。
Wang Chaofan, Zou Guigao, Liu Jinguang, Zhao Yonggui, Application of Multi-channel Transient Rayleigh Wave Exploration Study [J], Beijing, Geological Sciences, 2002.
10. 杜立志, 瞬态瑞雷波勘探中的数字处理技术研究[J], 吉林大学硕士学位论文, 2005。
Du Lizhi, The Study of Digital Processing Technology in Transient Rayleigh Wave Exploration [J], Master Degree Theses of Master of Jilin University, 2005.
11. 黄祥林, 牛建军, 瞬态瑞雷波探测分析处理系统设计[J], 吉林大学学报(地球科学版)地质工程测试技术专辑, 2002。
Huang Xianglin, Niu Jianjun, Transient Rayleigh Wave Detection Analysis Processing System Design [J], Journal of JiLin University (EarthSciences) Album Geological Engineering Testing Technology, 2002.
12. 于润伟, 朱晓慧, MATLAB 基础及应用(第2版)[M], 北京, 机械工业出版社, 2008。

Yu Runwei, Zhu Xiaohui, Foundation and Application of MATLAB (the second edition) [M], Beijing, Machinery Industry Press, 2008.

13. 胡强, 程耀东, 齐津, 大地脉动数据的分析及建模[J], 浙江大学学报, 1997.

Hu Jiang, Cheng Yaodong, QiJin, Analysis and modeling of earth pulsation data[J], Journal of Zhejiang University, 1997.