



## 学位论文数据集

|                |                                      |           |            |              |
|----------------|--------------------------------------|-----------|------------|--------------|
| 中图分类号          | TP274                                | 学科分类号     | 5108040    |              |
| 论文编号           | 1001020110754                        | 密 级       | 公开         |              |
| 学位授予单位代码       | 10010                                | 学位授予单位名称  | 北京化工大学     |              |
| 作者姓名           | 杨宁                                   | 学 号       | 2008000754 |              |
| 获学位专业名称        | 计算机应用技术                              | 获学位专业代码   | 081203     |              |
| 课题来源           | 石化企业旋转机械智能巡检项目                       | 研究方向      | 嵌入式系统      |              |
| 论文题目           | 基于 DSP 的便携式设备巡检仪的研发                  |           |            |              |
| 关 键 词          | TMS320F2812, DSP, 设备状态检测和故障诊断, 信号完整性 |           |            |              |
| 论文答辩日期         | 2011.05.26                           | * 论 文 类 型 | 开发研究       |              |
| 学位论文评阅及答辩委员会情况 |                                      |           |            |              |
|                | 姓名                                   | 职称        | 工作单位       | 学科专长         |
| 指导教师           | 高金吉                                  | 教授        | 北京化工大学     | 设备诊断与故障自愈工程  |
| 指导教师           | 江志农                                  | 研究员       | 北京化工大学     | 设备故障与远程实时监控  |
| 评阅人 1          | 何苏勤                                  | 教授        | 北京化工大学     | DSP 技术、嵌入式系统 |
| 评阅人 2          | 李学斌                                  | 副教授       | 北京化工大学     | 信号处理         |
| 评阅人 3          |                                      |           |            |              |
| 评阅人 4          |                                      |           |            |              |
| 评阅人 5          |                                      |           |            |              |
| 答辩委员会主席        | 何苏勤                                  | 教授        | 北京化工大学     | DSP 技术、嵌入式系统 |
| 答辩委员 1         | 易军凯                                  | 教授        | 北京化工大学     | 计算机科学        |
| 答辩委员 2         | 李学斌                                  | 副教授       | 北京化工大学     | 信号处理         |
| 答辩委员 3         | 高敬阳                                  | 副教授       | 北京化工大学     | 人工神经网络       |
| 答辩委员 4         | 谢晓明                                  | 副教授       | 北京化工大学     | 现代通信技术       |
| 答辩委员 5         |                                      |           |            |              |

注：一. 论文类型：1.基础研究 2.应用研究 3.开发研究 4.其它

二. 中图分类号在《中国图书资料分类法》查询。

三. 学科分类号在中华人民共和国国家标准（GB/T 13745-9）《学科分类与代码》中查询。

四. 论文编号由单位代码和年份及学号的后四位组成。



## 基于 DSP 的便携式设备巡检仪的研发

### 摘 要

近年来设备状态检测和故障诊断技术迅猛发展,有效地保证了设备运行的可靠性,并在设备预知维修中发挥越来越重要的作用。计算机与嵌入式技术的不断发展又为状态监测与故障诊断提供了新的发展方向。

本课题针对石油化工企业对设备检测和故障诊断技术的需求,研发了一种以 TMS320F2812 为中央处理器的便携式设备巡检系统,完成对机泵群机组信号的调理、采样、数据处理、时域波形和频谱的显示、红外测温、与外部接口通信等功能。在充分考虑信号完整性的基础上,利用 Altium Designer 完成了设备巡检系统的硬件设计,并使用 Hyperlynx 进行仿真分析优化 PCB 设计,保证了设备巡检系统的稳定运行。使用 Code Composer Studio 和 C 语言编写和调试设备巡检仪的振动信号采集模块、温度信号采集模块、实时时钟模块、液晶显示模块、SRAM 数据存贮模块和 Flash 数据存储模块的程序。

论文对故障诊断技术及其目前的发展作了简要阐述,并对巡检系统的硬件设计部分进行了详尽的介绍,给出了信号调理模块、数据采集模块、微处理器模块、电源模块电路的设计思路,完成了对关键信号的仿真与硬件系统的改进。分析了本数据采集系统使用的软件系统,并给出了系统软件设计思路与总体框架。

**关键词:** TMS320F2812, DSP, 设备状态检测和故障诊断, 信号完整性



## **Portable Machine Condition Advisor(PMCA)**

### **Based on DSP**

### **ABSTRACT**

Plant monitoring and diagnose has developed rapidly in recent years. It effectively ensures the stably running of plant, and will play a more and more vital role in the plant predictive maintenance. And the development of embedded system and computer technology offers a new orientation of plant monitoring and diagnose.

Portable Machine Condition which treats DSP as its MCU is developed to meet the demand of plant monitoring and diagnosis in Petrochemical Enterprises. It also provides signal conditioning of pump base unit, sampling, data processing, displaying of time-domain waveforms and frequency spectrum, temperature measurement using an infrared sensor, communication with external interface and so on. Full consideration to signal integrity, I designed the PCB of Machine Condition Monitoring system with the help of Altium Designer, and optimized the PCB design to ensure the stably running of plant, using Hyperlynx to simulate. To write and debug the code of vibration signal acquisition, temperature signal acquisition, real-time clock,

displaying, data storage of SRAM and data storage of Flash by using Code Composer Studio and C programming language.

Technology of plant monitoring and diagnosis is illuminated briefly in the paper. And comprehensive analysis is given for the hardware design, which includes signal conditioning, sampling, Microprocessor and power. It also gives the simulation of key signal and improves the hardware design. The design and structure of software is set forth.

**KEYWORDS:** TMS320F2812, DSP, Plant monitoring and diagnosis, Signal Integrity(SI)

## 目 录

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <b>第一章 绪论</b> .....                   | 1  |
| 1.1 故障诊断技术概述.....                     | 1  |
| 1.2 国内外故障诊断技术发展概况.....                | 2  |
| 1.3 本课题的主要研究内容.....                   | 3  |
| <b>第二章 基于 DSP 的设备巡检系统总体结构设计</b> ..... | 5  |
| 2.1 设备故障诊断概述.....                     | 5  |
| 2.1.1 设备故障诊断的目的和意义.....               | 5  |
| 2.1.2 设备故障诊断与状态监测.....                | 5  |
| 2.1.3 设备故障状态的识别方法.....                | 6  |
| 2.2 便携式设备巡检系统概述.....                  | 7  |
| 2.3 便携式设备巡检系统构成.....                  | 8  |
| <b>第三章 系统硬件结构设计</b> .....             | 11 |
| 3.1 系统硬件设计概述.....                     | 11 |
| 3.2 信号调理模块概述.....                     | 11 |
| 3.2.1 信号调理概述.....                     | 11 |
| 3.2.2 放大电路的设计.....                    | 12 |
| 3.2.3 滤波电路的设计.....                    | 13 |
| 3.3 数据采集模块设计.....                     | 15 |
| 3.3.1 模拟输入的主要参数.....                  | 15 |
| 3.3.2 测量系统的信号类型.....                  | 16 |
| 3.3.3 测量系统的连接类型.....                  | 16 |
| 3.3.4 测量系统的采样方式.....                  | 17 |
| 3.3.5 振动信号采集电路设计.....                 | 17 |
| 3.3.6 温度信号采集电路设计.....                 | 18 |
| 3.4 微处理器模块设计.....                     | 19 |
| 3.4.1 DSP 处理器.....                    | 19 |

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 3.4.2 时钟电路 .....              | 20        |
| 3.4.3 电源开关电路 .....            | 20        |
| 3.4.4 复位电路 .....              | 21        |
| 3.4.5 SRAM 存储扩展电路 .....       | 21        |
| 3.4.6 Flash 存储扩展电路 .....      | 22        |
| 3.4.7 液晶接口电路 .....            | 23        |
| 3.4.8 USB 接口电路 .....          | 25        |
| 3.4.9 键盘电路 .....              | 27        |
| 3.5 电源模块设计 .....              | 28        |
| 3.5.1 模拟电路电源 .....            | 28        |
| 3.5.2 数字电路电源 .....            | 29        |
| 3.5.3 电池充放电电路 .....           | 31        |
| 3.5.4 电池电量检测电路 .....          | 31        |
| 3.6 对关键信号仿真与硬件系统改进 .....      | 32        |
| 3.6.1 USB 接口差分数据信号的仿真 .....   | 33        |
| 3.6.2 串扰信号的仿真 .....           | 35        |
| <br><b>第四章 系统软件相关设计</b> ..... | <b>37</b> |
| <br>4.1 软件开关环境 CCS 概述 .....   | 37        |
| 4.2 数据采集模块程序设计 .....          | 40        |
| 4.2.1 振动信号采集模块程序设计 .....      | 40        |
| 4.2.2 温度信号采集模块程序设计 .....      | 43        |
| 4.3 液晶显示模块程序设计 .....          | 46        |
| 4.4 实时时钟模块程序设计 .....          | 47        |
| <br><b>第五章 结论与展望</b> .....    | <b>49</b> |
| <br>5.1 结论 .....              | 49        |
| 5.2 展望 .....                  | 50        |
| <br><b>参考文献</b> .....         | <b>51</b> |
| <br><b>致 谢</b> .....          | <b>53</b> |

|                   |    |
|-------------------|----|
| 研究成果及发表的学术文章..... | 55 |
|-------------------|----|

|           |    |
|-----------|----|
| 作者简介..... | 57 |
|-----------|----|



# Contents

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Chapter 1 Introduction .....</b>                                          | <b>1</b>  |
| 1.1 Summarization of fault diagnosis technique .....                         | 1         |
| 1.2 Domestic and international status of fault diagnosis.....                | 2         |
| 1.3 Main research content .....                                              | 3         |
| <b>Chapter 2 Architecture of Machine Condition Advisor based on DSP.....</b> | <b>5</b>  |
| 2.1 Summarization of device fault diagnosis .....                            | 5         |
| 2.1.1 Purpose and significance of device fault diagnosis.....                | 5         |
| 2.1.2 Device fault diagnosis and condition monitoring.....                   | 5         |
| 2.1.3 Identification of device fault status .....                            | 6         |
| 2.2. Summarization of portable machine condition monitoring system.....      | 7         |
| 2.3 Composition of portable machine condition monitoring system .....        | 8         |
| <b>Chapter 3 Architecture of system hardware.....</b>                        | <b>11</b> |
| 3.1 Summarization of system hardware .....                                   | 11        |
| 3.2 Summarization of signal condition module.....                            | 11        |
| 3.2.1 Summarization of signal condition.....                                 | 11        |
| 3.2.2 Design of amplify circuit.....                                         | 12        |
| 3.2.3 Design of filter circuit .....                                         | 13        |
| 3.3 Design of data acquisition module .....                                  | 15        |
| 3.3.1 Main parameters of the analog input.....                               | 15        |
| 3.3.2 Type of measurement system's signal .....                              | 16        |
| 3.3.3 Type of measurement system's connection .....                          | 16        |
| 3.3.4 Type of measurement system's sampling .....                            | 17        |
| 3.3.5 Sampling circuit of vibration signal .....                             | 17        |
| 3.3.6 Sampling circuit of temperature signal .....                           | 18        |
| 3.4 Design of MCU module .....                                               | 19        |
| 3.4.1 DSP processor module .....                                             | 19        |

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.2 RTC circuit .....                                               | 20        |
| 3.4.3 Power switch circuit .....                                      | 20        |
| 3.4.4 Reset circuit .....                                             | 21        |
| 3.4.5 SRAM memory circuit .....                                       | 21        |
| 3.4.6 Flash memory circuit .....                                      | 22        |
| 3.4.7 LCD interface circuit .....                                     | 23        |
| 3.4.8 USB interface circuit .....                                     | 25        |
| 3.4.9 Keyboard circuit .....                                          | 27        |
| 3.5 Design of Power module .....                                      | 28        |
| 3.5.1 Power of analog circuit .....                                   | 28        |
| 3.5.2 Power of digital circuit .....                                  | 29        |
| 3.5.3 Battery charging and discharging circuit .....                  | 31        |
| 3.5.4 Battery checking circuit .....                                  | 31        |
| 3.6 Simulation of key signal and improvement of hardware sysem .....  | 32        |
| 3.6.1 Simulation of USB interface's differential signal .....         | 33        |
| 3.6.2 Simulation of crosstalk signal .....                            | 35        |
| <br><b>Chapter 4 Architecture and Design of system software .....</b> | <b>37</b> |
| 4.1 Summarization of CCS .....                                        | 37        |
| 4.2 Design of data acquisition program .....                          | 40        |
| 4.2.1 Design of vibration signal acquisition program .....            | 40        |
| 4.2.2 Design of temperature signal acquisition program .....          | 43        |
| 4.3 Design of LCD display program .....                               | 46        |
| 4.4 Design of RTC program .....                                       | 47        |
| <br><b>Chapter 5 Summary and outlook .....</b>                        | <b>49</b> |
| 5.1 Conclusion .....                                                  | 49        |
| 5.2 Outlook .....                                                     | 50        |
| <br><b>Reference .....</b>                                            | <b>50</b> |
| <br><b>Acknowledgements .....</b>                                     | <b>51</b> |

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Research results and published academic papers.....</b> | <b>53</b> |
| <b>Brief introduction of author .....</b>                  | <b>57</b> |



## 第一章 绪论

### 1.1 故障诊断技术概述

随着科技的进步与经济的发展,现代生产装备日趋大型化、综合化、精密化、复杂化,工艺过程自动化,流水作业,连续生产,非计划停产损失巨大。生产过程对人的依赖程度越来越低,但对设备的依赖程度越来越高,对设备技术状态的掌握要求越来越高,设备的安全、可靠与平稳运行备受人们关注<sup>[1]</sup>。因此,准确而有效地判断机械是否出现故障,可以大大节省设备维护和修理的费用和成本,因此维持设备运行的稳定性,节省设备维修的成本在工业生产中有着显而易见的重要性<sup>[2]</sup>。

对于传统方法,只有等到机械运行出现问题或者拆开机械设备检查的时候,才能弄清楚机械的某个部分出现了故障。而为了确保机械的正常运转,要规定定期的维修检查制度,既不经济又不合理。像在传统方法中那种等到定期大维修时,设备停车再一起解决问题的不科学的维修方法显然不能满足现代工业的发展,因此故障诊断技术正是在这种背景下产生的<sup>[3]</sup>。设备故障监测与诊断是提高设备可靠性的基本技术手段,而设备的振动监测与诊断是其中重要的技术途径,对设备在可靠性、维修性、安全性、可生产性和质量控制等方面加以控制。

从20世纪60年代开始,国际工程科技界开发了设备监测诊断技术,在军事装备和工业企业逐步推行预知维修和智能维修。近二三十年来国内外设备诊断技术的研究开发以及应用异常活跃,多种诊断方法已经在工厂实际应用,常常缺的出人意料的实效<sup>[5]</sup>。机械状态监测与故障诊断是一个多学科多行业交叉的研究方向,近年来随着信息技术、计算机技术、人工智能以及机械故障机理研究的深入和发展,新的技术不断地被移植和应用到机械状态监测和故障诊断之中,极大地丰富了机械状态监测和故障诊断理论和技术,推动了监测和诊断向更深和更高层次的发展<sup>[6]</sup>。振动监测与诊断设计多方面的专业技术,现场实际问题错综复杂、千变万化,要顺利完成机械故障诊断任务并取得实效有一定困难。坚实的理论基础、广博的专业知识、深入的现场实践,以及科学的思维方法,是当代高素质维修工程技术人员必备的基本素质,是解决复杂工程问题不可或缺的基本条件。

设备故障诊断的基础和前提是状态参数的监测,设备故障诊断首先要获取设备的状态信息,这种信息通常来自于设备在运行中的各种参数变化,通过状态监测的方法来获取这些信息<sup>[7]</sup>。设备在运行过程中,凡是能够监测设备状态参数的变化,掌握设备在运行中所处状态(正常、劣化或者故障),并且能够识别、诊断出故障的性质、程度和部位的任何一种方法,都可以作为故障诊断的技术手段。当前用于对生产设备进行状态检测的方式主要有两种,即在线监测和离线监测。在线监测系统主要用于对大型关键设备和机组,如高功率、高参数的旋转机械,这类机械不仅价格昂贵,而且从

设计、制造、安装到维护运行的技术要求高，一旦出了故障，影响很大。该系统构成复杂，费用昂贵，专用性强。而离线检测系统具安装方便、维护成本较低、投资少等优势，更适用于流程工业中的中小型非关键设备的故障诊断应用。

设备故障监测与诊断技术正向网络化、智能化、远程化、实时化、精密与早期预测的方向发展，实行装备预测以及健康管理并与工程资产管理信息化紧密结合，是未来物联网应用的重要领域之一。我们深信，只要团结协作、勇于探索、大胆实践、不懈努力，我国设备诊断和先进维修工程科技研究和应用必将会取得更大的成就。

## 1.2 国内外故障诊断技术发展概况

当今，人们越来越依赖高度机械化、自动化和智能化的产业来创造财富，因此对于故障诊断监测设备的研究早已经成为焦点，并取得了巨大的经济效益与社会效益。

国际方面，早在 1967 年美国就开始研究故障诊断技术，并且根据航空工业、核工业以及军事工业方面的需求，制定了与对设备进行故障诊断相关的标准规范。可以说，美国在故障诊断与状态监测方面一直处于领先的地位，并且成功地开发出很多产品，如美国 Bently Nevada 公司开发生产的 DM2000 系统和亚特兰大公司生产的 M6000 系列产品、M777 便携式数据采集器等产品。此外，日本在钢铁、化工、铁路等方面对于机械设备故障诊断的研究和应用取得了很大的进展<sup>[10-13]</sup>。

在国内，从 20 世纪 70 年代末，中国大规模、全方位地引进国外技术和进口国外设备。虽然国内在故障诊断方面起步较晚，但也有着较快的发展，国内部分高等院校和科研机构在充分吸收国外先进技术的基础上，展开了对故障机理和诊断方法的研究。经过不懈的努力，我国在故障诊断与状态监测方面也研发出了一些成熟的产品，如由哈电仪表研究所、清华、哈工大等多家单位联合研制的“200MW 汽轮发电机组状态监测/分析及故障诊断系统”、西北工大推出的 MD3905 系统和哈尔滨工业大学研制的微计算机旋转机械状态监测故障诊断装置“MMMD-III”等等<sup>[14]</sup>。目前我国在化工、机械以及电力等方面很好地将故障诊断技术与工程实际应用结合起来，取得了巨大的经济效益和社会效益。

当前我国的设备诊断工作，在经历了 20 多年的实践与探索之后，一方面正在总结自己的成功经验，肯定科学客观规律，进行新的探索；另一方面也在努力学习和引进一些国外新的理论与成果，在进行了严格的考核论证之后，择优选用，使之与我国的设备工程结合起来。而其中重要的一方面，就是很多企业已经大都从单一的计划维修模式转化到以状态为基础的预防维修等多种维修体制上来。一些过去曾受国外规章制度所严格约束的国外企业，也都逐步明确了利弊，建立了状态维修这一新的体制并取得了好的结果，这都说明了国内企业的设备诊断工作确实在向前推进。在每年的学术会议、经验交流和各个期刊著作中，少不了而且还多占优势的仍然是诊断技术专栏。

还有就是国内的诊断仪器生产,尽管在功能和精度上,与国外产品尚有差距,但其经济性和适用性已完全改变了过去必须依靠进口的局面。

在回顾过去 20 多年来所取得的成就的同时,也还必须清醒地看到我国与一些先进国家在设备诊断方面所存在的差距,尽管我国早已采取了院校、科研与生产单位相结合的方针,但在结合的紧密程度上,以及对一个工作项目负责到底的服务精神上,都还有所不足。其中一个很重要的问题就是专业人员的技术素质问题。一个好的现场诊断工作者,既需要一定的基础理论知识,也需要掌握熟悉的技术方法,还有不可缺少的是丰富的现场工作经验,只有全面具备了以上三个方面的素质,才可以说是有了高素质的现场诊断人员。当前服务于我国工业企业现场的设备诊断人员,已经绝大部分都是初始从事诊断的第三代新人了。他们一般具有良好的科学知识和善于学习探索的科学精神,但是他们在设备诊断的基础理论和技术方面上还有不足,特别是在处理复杂问题的分析诊断上更加缺少经验。因此,世界各国都很重视人员的培训和认证要求。

### 1.3 本课题的主要研究内容

本课题的研究内容正是基于故障诊断和设备状态检测技术,主要应用于离线检测系统。基于 DSP 的便携式设备巡检仪很好地将故障诊断技术、微电子技术和嵌入式技术结合起来,有效地对机泵群进行状态监测,给出机械的故障分析。这套系统可以应用在不同的层次,从小型的工艺设备到整个工厂、公司的所有设备监测。此外,该系统的应用能够较大幅度提高巡检人员的劳动效率,降低了培训设备巡检人员的要求,同时也减轻了设备管理人员在现场进行巡检等操作的负担,节省了设备维护和修理的费用,并且能够保证设备运行的可靠性和稳定性,符合新的智能设备运行管理模式思想。同时把大量对设备运行信号处理工作和多年设备运行管理经验的整理与积累工作交给系统核心去完成,实现设备运行信息化和计算机管理,从最大限度上避免人为失误所造成的事故和不必要的经济损失,保障监测工作的数字化、标准化、程序化、规范化、制度化,从而为预知维修提供科学依据。

主要研究开发内容如下:

#### 1. 便携式设备巡检系统总体方案设计

TMS320F2812 是一款具有高运算速度、低功耗、集成度高、体积小等优点的 DSP。本课题基于系统性能、功耗、体积、成本等方面的综合考虑,设计了以 TMS320F2812 这款 DSP 为核心的便携式设备巡检系统,完成传感器信号的调理、采样、数据处理、时域波形和频谱的现实、红外测温、与外部接口通信等功能。

#### 2. 便携式设备巡检系统硬件设计

系统硬件由电源模块、信号调理模块、数据采集模块、微处理器模块和液晶显示

模块组成，其中微处理器模块包含 DSP 处理器电路、实时时钟电路、复位电路、液晶接口电路、键盘电路、串口转 USB 电路、SRAM 存储扩展电路和 Flash 存储扩展电路。

### 3. 便携式设备巡检系统相关软件设计

编写和调试了振动信号采集模块、温度信号采集模块、实时时钟模块、Flash 存储模块、液晶显示模块的程序。并且在文中给出了相关软件的结构和设计思路。

### 4. 便携式设备巡检系统调试及相关测试

由硬件调试和软件测试两部分组成。主要包括电源供电电路调试、信号调理电路调试、时钟电路调试、DSP 工作性能测试、信号调理、数据采集精度测试，以及系统上层应用程序的测试。

## 第二章 基于 DSP 的设备巡检系统总体结构设计

### 2.1 设备故障诊断概述

#### 2.1.1 设备故障诊断的目的和意义

设备故障诊断与医生看病有很多相似之处,如同人生病后需要求医就诊,机械设备在运行中产生了故障,同样也需要“医生”诊断病因。

设备故障诊断的内容通常包含三个部分:第一部分是利用各种传感器和检测仪表来获取设备运行状态的信息,即信号采集。所采集到的信号还要进行相应的处理,将无用信息剔除,从而提取能反映设备状态的有效信息,即特征信息,并且通过这些信息来判断设备运转是否出现故障,我们将这部分内容称为“状态监测”,他包含了信号采集和信号处理。第二部分是如果发现设备出现故障,则识别相应的反映故障状态的特征参数和信息,利用专家的知识 and 经验,给出故障诊断分析,包括故障原因、故障类型、故障部位和故障程度等,这部分内容称为“故障诊断”。第三部分是根据诊断结论,采取相应的预防、控制和治理等措施,称为“诊断决策”。

#### 2.1.2 设备故障诊断与状态监测

设备故障诊断的第一步是要获取设备的状态信息,这种信息通常定义为设备运行中的各种参数的变化。设备在运行过程中,凡是能够监测设备状态参数的变化,掌握设备在运行中所处状态(正常、劣化或故障),并能识别、诊断出故障的性质、程度和部位的任何一种方式方法,都可以作为故障诊断的技术手段<sup>[15]</sup>。

机械故障诊断与监测的任务是对振动信号进行特征参数提取,并依据特征参数进行设备正常与否的分析以及对特征参数序列进行数据解释,同时将故障信息传递、显示,并通过适当途径报警、处理。在现代科学技术条件下,振动故障诊断与监测技术不断进步,诊断与监测系统日趋复杂,功能不断扩展、精度也更高。

机械系统的安全、可靠、高效、低功耗和环境友好的运行,是企业提高生产效率,实现生产安全的重要保证。实时采集机械系统运行状态的信息,从而分析和判断机械系统运行状态的优劣,为机械系统的维修决策提供技术支持,可达到最佳的运行经济性的目的。故障诊断就是实现这一目的的重要技术手段。

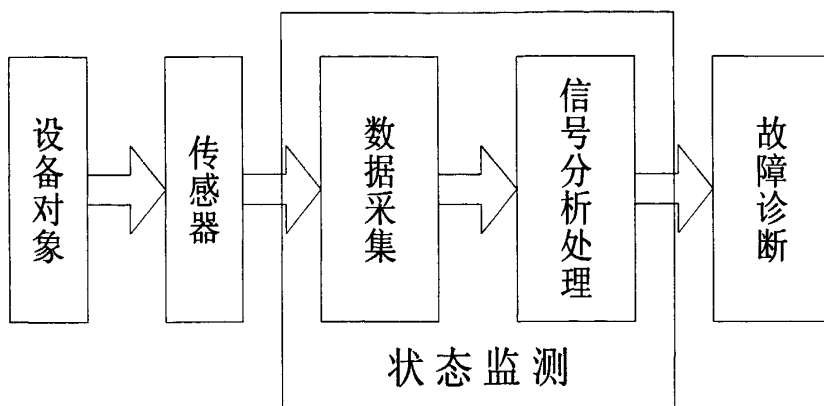


图 2-1 典型故障诊断系统构成图

Fig 2-1 Block diagram of typical fault diagnosis system

由图 2-1 所示，故障诊断与状态监测密不可分，故障诊断的前提和基础是状态监测，这一部分直接面向设备对象，识别和提取设备在运行过程中的特征参数，然后将这些特征参数经过相应的算法分析和处理，从而根据这些参数得出的分析结构判断被测设备是否存在故障和确定设备的维修方案，由此可见，状态监测是故障诊断系统能否正常有效工作的基础<sup>[16]</sup>。

### 2.1.3 设备故障状态的识别方法

对设备进行状态监测的目的是要判断设备运行是否正常，如果已经断定设备出现故障，则要进一步识别故障的种类、故障的原因、故障的程度。设备多产生的故障具有层次性、多因素、多样性、相关性、延时性和模糊性等特性，因此为了提高故障的识别能力和增加诊断的准确性，需要采取一些有效地故障状态识别方法。

#### 1. 信息比较诊断法

信息比较诊断法是通过采集和存储振动幅值、频率、相位、转速、位移以及温度、压力、流量等工艺参数的多种信息，进而建立数据库，并作出趋势分析等图谱。机械一旦出现故障，可以通过信息比较诊断法将当前数据和历史数据进行比较，在结合故障的特征信息，利用诊断知识，得出故障分析报告。

#### 2. 参数变化诊断法

机械发生振动故障，一般都存在一个与转速、压力、流量和温度等操作参数相关的阈值，在阈值以下时，振动会突然增大。可以通过在参数变化过程中（如升降速过程、负荷变化过程、振幅或振型变化过程）测量和分析信号特征，观察机械振动与哪些因素有关，从而得出故障发生的部位和故障原因。如判断离心压缩机的振动是否由轴承油膜振荡引起，处理观察他的振动频率与转子的一节自振频率是否相近之外，还

要观察转子涡动频率随转速的变化。

### 3. 模拟实验诊断法

基于设备故障的多样性、层次性和多因素,设备故障多表现出的征兆与故障原因之间的关系式往往是不确定的。可以通过模拟实验,对故障的机理和特征进行研究,分析产生故障的原因,提出表现这类故障的特征参数以及各种参数之间的定量关系等问题。特别是对一些机理不清、特征信息不明、数据需要量化的故障类型,模拟实验是较为常用的方法之一,它可以提供最直接的证据。

### 4. 函数诊断法

函数诊断法是利用故障特征与故障原因之间存在的直接或者间接的函数关系,并且计算设备运行参数,从而达到预测故障的目的。在实际工作中,函数诊断法有着普遍应用。尤其是在设备实际阶段,与故障有关的影响因素,但凡与能够进行理论计算的应该首先采用。例如:在转子动力学方面,首先需要对转子的临界转速进行计算,观察机器的工作转速是否落在临界转速点附近或 2 倍临界转速点上,否则会引进转子和轴承较大振动<sup>[15]</sup>。

### 5. 故障树分析诊断法

故障分析诊断法,是从研究最不理想的故障状态出发,按照特定的逻辑关系从总体到个体一级级地细化,分析故障的原因,最终得出故障的性质、原因和程度。

### 6. 神经网络诊断法

人工神经网络术语人工智能领域的一个分支,他通过模仿人的大脑功能,借助于仿真和并行处理信息技术,模拟人脑在记忆、学习和归纳功能上的一些基本特性。由于其自身具有很强的学习、推理和表达能力,因此基于神经网络的诊断专家系统在故障诊断领域具有很好的应用前景。

## 2.2 便携式设备巡检系统概述

当今,人们越来越依赖高度机械化、自动化和智能化的产业来创造财富,因此对于故障诊断监测设备的研究早已经成为焦点,并取得了巨大的经济效益与社会效益。近年来设备状态检测和故障诊断技术发展迅速,有效地保证了设备运行的可靠性,并在设备预知维修中发挥越来越重要的作用。计算机嵌入式技术、微电子技术等迅猛发展,也促进了故障诊断技术和设备状态监测的兴起。本课题针对石油化工企业对设备检测和故障诊断技术的需求,研发了一种以 TMS320F2812 为中央处理器的便携式设备巡检系统,完成对机泵群机组信号的调理、采样、数据处理、时域波形和频谱的显示、红外测温、与外部接口通信等功能。该系统可以应用在从小型工艺流程设备到整个工厂的所有监测设备,并且该系统的应用能够较大幅度提高巡检人员的劳动效率,降低了培训设备巡检人员的要求,同时也减轻了设备管理人员在现场进行巡检等操作

的负担，同时避免了现场全面实现自动监测的却投资和安装工程。

## 2.3 便携式设备巡检系统构成

本课题所设计的便携式设备巡检系统的硬件是由电源管理模块、信号处理模块、数据采集模块、DSP 微处理器模块、液晶显示模块、接口模块构成，软件主要是由巡检管理软件构成。这款设备巡检仪既可以作为一个独立的设备巡检系统应用于工业现场，又可以作为功能更加强大的智能巡检系统的一部分。便携式设备巡检系统结构图如下：

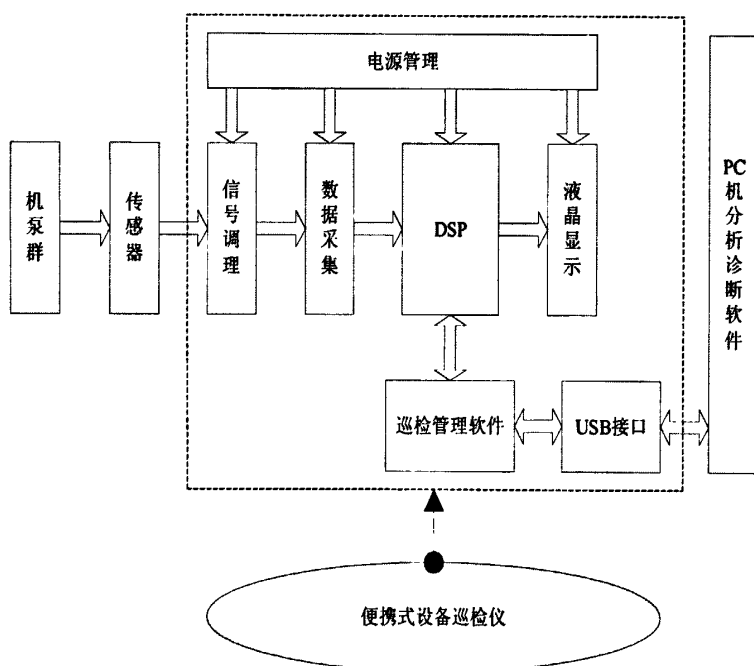


图 2-2 便携式设备巡检系统总体结构图

Fig 2-2 Block diagram of portable machine condition advisor system

电源管理模块作为系统的原动力，承担着对信号调理模块、数据采集模块、DSP 微处理器模块、液晶显示模块等供电的重任。因此，电源管理模块在整个系统稳定运行方面发挥着至关重要的作用。

信号调理模块是传感器和 ADC 转换器之间以及 DAC 转换器和执行机构之间的桥梁。传感器输出信号要经过信号调理的原因：

1. 目前标准化工业仪表通常采用 0~10mA、4~20mA 信号，为了和 ADC 转换器的输入形式相适应，要经过电流电压转换器变换成 0~5V 或 1~5V 的电压信号；同样，DAC 转换器的输出也要经过电压电流转换器变换为电流信号；

2. 有些测量信号是非电量，如热敏电阻等，这些非电压量信号必须变换为电压信号。还有些信号是弱电信号，如热电偶信号，它必须经过放大、滤波。这些处理包括

信号形式的变换、量程调整、环境补偿、线性化等;

3.在某些恶劣条件下,共模电压干扰很强。例如,共模电平高达 220V,甚至 500V 以上,不采用隔离的办法则无法完成数据采集任务,因此必须根据现场环境,考虑共模干扰的抑制,甚至采用隔离措施,包括地线隔离、路间隔离等。

数据采集模块的主要作用就是将传感器输出的信号经过信号调理后,再进行数字化,进一步供微处理器对这些数字信号分析和处理。

微处理器模块对整个系统的运行进行管理。在便携式仪器的设计中,提高系统性能和降低系统功耗这两个指标尤为重要。基于以上考虑,选取 TMS320F2812 这款 DSP 作为微处理器模块的核心,扩展一定的外围存储器芯片,以便实现和协调系统的各种功能,保证复杂算法的实时准确性。

液晶显示模块是用户与设备巡检仪交互的重要桥梁,完成对 DSP 处理后关键信号的测量值、时域波形、频谱、图形用户界面(GUI)的显示,确保工业现场的工作人员能够直观地观察到设备状态,及时地诊断出设备的故障。



## 第三章 系统硬件结构设计

### 3.1 系统硬件设计概述

便携式设备巡检系统选用 TMS320F2812 为中央处理器, TMS320F2812 是一款专门针对控制设计的数字信号处理器, 兼顾了 DSP 和微控制器的优点, 能够支持浮点运算算法, 主频为 100MHz, 被广泛应用于嵌入式领域。便携式设备巡检仪依托于专用调理电路完成对机泵群机组信号的滤波、放大、积分从而提取出符合要求的加速度信号、速度信号、位移信号和包络信号, 为下一步进行数据处理奠定了基础; 通过两块 SPI 接口的 ADC 分别对振动信号和温度信号进行采样, 并且将采样所得的数字信号传入 DSP 根据相关的算法进行数据处理, 给出测点的时域波形和频谱或者具体的温度值, 最终在液晶屏上描绘出相关的时域波形、频谱和温度值; 还可以通过 USB 接口与上位机进行通信, 传输有关测点信息。在充分考虑信号完整性的基础上, 利用 Altium Designer 完成了设备巡检系统的硬件设计, 并使用 Hyperlynx 进行仿真分析优化 PCB 设计, 保证了设备巡检系统的稳定运行。使用 Code Composer Studio 和 C 语言编写和调试设备巡检仪的振动信号采集模块、温度信号采集模块、实时时钟模块、液晶显示模块、SRAM 数据存贮模块和 Flash 数据存储模块的程序。

### 3.2 信号调理模块概述

信号调理模块的功能是完成对传感器传过来的信号进行调理。典型的系统的硬件部分常常包含信号调理模块, 用于对原始信号或者传感器的输出进行相应的处理后, 再传输给数据采集模块, 有效地改善了数据采集系统的性能, 保障了数据采集系统运行的可靠性。

#### 3.2.1 信号调理概述

典型的信号调理方法包括滤波、放大、隔离、激励、线性化等, 但是对于信号调理的设计还要结合具体传感器的特性, 实现对特殊信号的调理。因此, 设计合理和信号调理电路, 不仅仅要考虑信号调理本身的内容, 还要结合信号调理电路的应用环境以及被测参数的意义。以下是一些典型的信号调理功能:

##### 1. 滤波

滤波的功能是保留被测信号中的有用的频率成分, 去除不需要的频率成分。为了消除或者抑制噪声对信号的干扰, 信号调理模块大多集成低通滤波器。特别地为了滤除超过有用信号最高频率的多余频率成分, 往往要使用抗混叠滤波器。

## 2.放大

放大的目的是提高微弱信号的分辨率，确保调理后信号的电压范围与 ADC 电压范围匹配。设计信号调理模块的时候，应确保其靠近信号源和传感器，这样有利于避免传输信号耦合到环境中的噪声干扰，从而提高信噪比。

## 3.隔离

隔离是将各种直流或者交流信号以及各种传感器信号隔离转换成所需的各种标准直流信号，实现输入、输出、电源之间相互隔离，消除地回路，减少干扰。隔离的目的主要有两点：

第一，从安全角度考虑，将来自危险区的电压、电流信号，经隔离变送输出电路或相互独立的双路电压、电流信号到安全区。

第二，确保数据采集模块的输出数据不会受到地电位的影响。即如果数据采集模块的地与信号的地之间存在电位差的话，并且没有进行相应的隔离处理，那么很有可能他们之间形成接地回路，引起误差。

## 4.激励

一些传感器常常需要外界提供的激励信号，例如由热敏电阻构成的温度传感器往往需要外界给它提供电源。而信号调理模块恰恰可以满足传感器在这方面的需求。

## 5.线性化

很多传感器对于被测量系统的响应是非线性的，因此常常使用数据采集系统中的软件对传感器的输出信号进行线性化校正，以补偿传感器带来的误差。

## 6.数字信号调理

即使传感器直接输出数字信号，很多时候对数字信号的调理仍是必不可少的，其作用是对传感器输出的数字信号进行相应的电压调整和波形整形<sup>[15]</sup>。

### 3.2.2 放大电路的设计

对于振动信号的采集，各种的机械类型的振动情况有所不同，即振幅的大小有所区别。对于不同的设备，加速度传感器所采集到的信号的振幅会有很大的不同，特别是当振动很微弱的时候，所采集到的加速度信号电压很小，往往是 mV 级别的信号，如果耦合到环境中的噪声干扰，将会对加速度信号产生破坏性的影响。因此，要对加速度信号进行放大处理，以避免环境中高频噪声对信号质量的影响，与后端 ADC 的输入电压范围匹配<sup>[17]</sup>。本设计采用精密电阻、高精度运算放大器和多路模拟开关配合构成前后两级同向放大器，其中前级放大倍数为 1、2、5、10、20、50 和 100，后级放大倍数为 1 和 10，前后两级相互作用完成 1、2、5、10、20、50、100、200、500、1000 等程控多种倍数的放大功能。对信号的放大电路如图 3-1 所示。

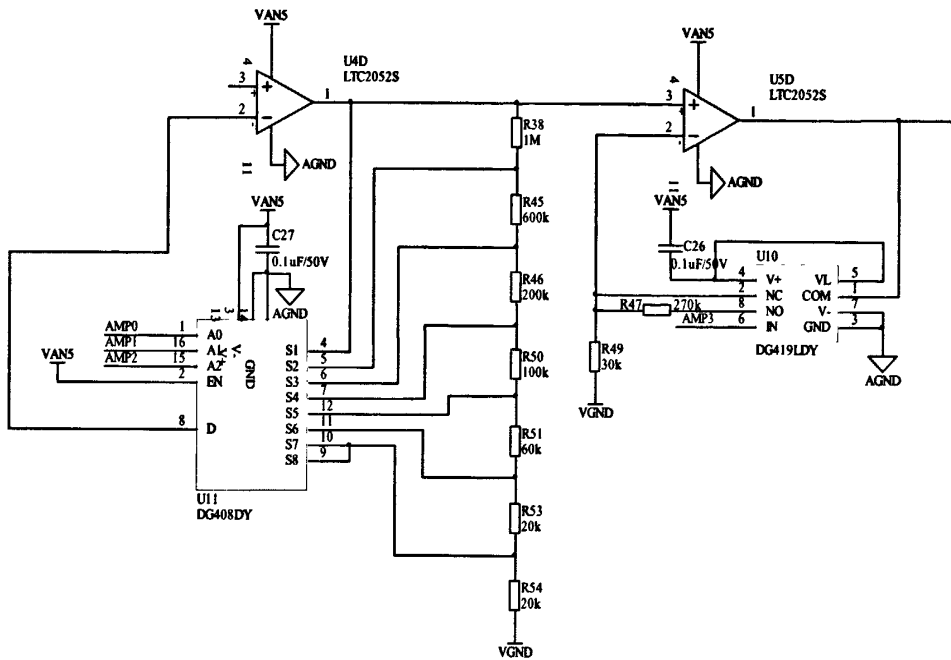


图 3-1 信号放大电路图  
Fig 3-1 Schematic of signal's amplify circuit

3.2.3 滤波电路的设计

对于模拟滤波器的设计，分为有源滤波器和无源滤波器两种。无源滤波器带负载能力弱，信号会随着负载的变化而出现一些变化，需要对阻抗进行匹配；而有源滤波器可以有效地消除这一点，不足之处是与无源滤波器相比，有源滤波器的噪声偏大<sup>[16]</sup>。目前常用的有源滤波器主要有四种形式：巴特沃斯滤波器，贝塞尔滤波器，切比雪夫滤波器和椭圆滤波器。其中巴特沃斯滤波器有着最为平坦的通带幅值响应，但高于截止频率的衰减度不是很大，且相位线性度不是很好；贝塞尔滤波器的相位特性最好，但高于截止频率的衰减度最小，且通带幅值响应不是很好；切比雪夫滤波器在高于截止频率时有着最大的衰减度，但相位线性度最差，且在通带范围内会发生谐振现象；椭圆滤波器在通带阻带内幅度响应不是很好，但其过渡带很窄，有着最好的衰减特性<sup>[18]</sup>。此外，滤波器在实际应用中的滤波效果会随着滤波器阶数的不同也会存在较大差异，通常高阶滤波器滤波效果较好，但相应的成本较高。

1.低通与高通滤波器

在数据采集系统运行的过程中，被测信号不可避免地会耦合到环境中的高频噪声，还有一些低频干扰成分。因此，为了提高数据采集系统的精度，势必要在信号调理电路中引入高通滤波器和低通滤波器，对被测信号中的无用频率分量进行衰减甚至去除，最大限度地保留有用信号<sup>[19]</sup>。基于要求滤波后的通带信号幅值变化要很小，并

且对阻带信号的衰减要大,设计中选择了四阶巴特沃斯高通和低通滤波器,分别由两个二阶巴特沃斯高通和低通滤波器组成,选用 Linear 公司的高精度运算放大器配合精密电阻和电容搭建滤波电路。四阶高通滤波电路图如图 3-2 所示。

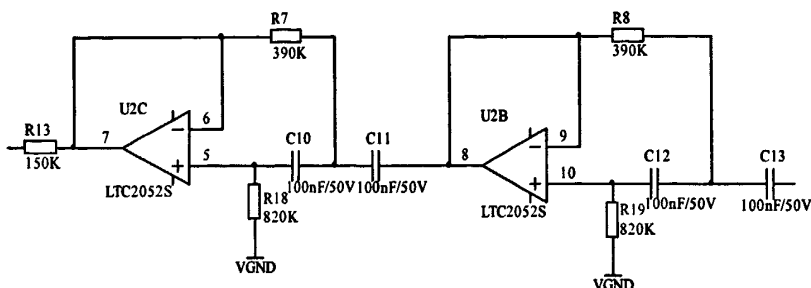


图 3-2 高通滤波电路电路图

Fig 3-2 Schematic of highpass filter circuit

设计了一种程控的巴特沃斯低通滤波器,同样采用了与高通滤波相似的两级低通滤波器设计思路。前级为固定截止频率的低通滤波器,然后由微控制器的程序确定后级滤波器的截止频率。后级二阶低通滤波器设计结构如图 3-3 所示。

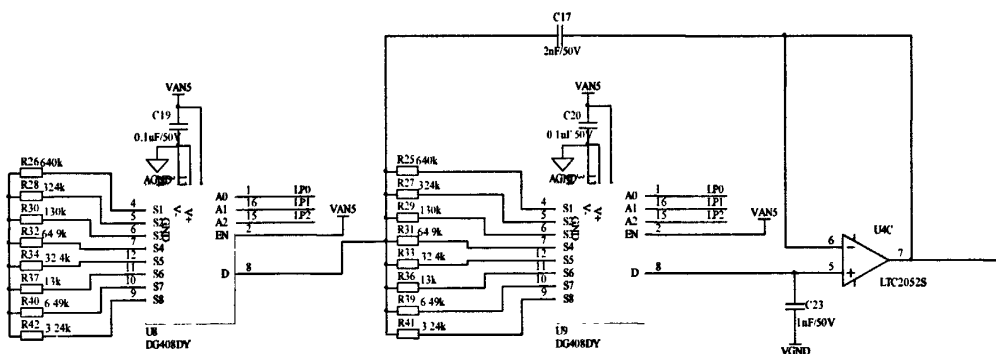


图 3-3 低通滤波电路图

Fig 3-3 Schematic of lowpass filter circuit

## 2. 抗混叠滤波器

奈奎斯特采样定理规定,当最大采样频率大于信号中的最高频率的 2 倍时,采样之后的数字信号完整地保留了原始信号中的信息,而一般实际应用中保证采样频率为信号最高频率的 5~10 倍。如果不满足以上条件,那么从采样信号恢复出来的信号会发生频率混叠现象,在调理电路中的抗混叠滤波器往往可以避免信号混叠现象<sup>[20]</sup>。为了搭建抗混叠滤波电路,设计中选用了 Linear 公司的一款开关电容滤波芯片,分别支持单电源与双电源供电,双电源最大供电电源为  $\pm 8\text{V}$ ,其截止频率范围是从 10Hz 到 80kHz;这款芯片经过相关设置后,可以配置为巴特沃斯滤波器、椭圆滤波器和线性相位滤波器,在本设计中将其设置为椭圆滤波器;这款芯片具有十分明显的优点,其输出失调电压很小,最大只有  $\pm 1.5\text{mV}$ ,完全可以满足设计中数字采集系统的要求<sup>[21]</sup>。信号调理电路中抗混叠滤波电路如图 3-4 所示。

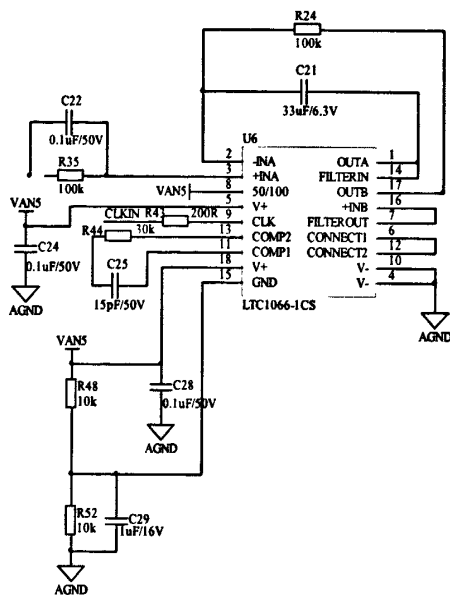


图 3-4 抗混叠滤波电路图

Fig 3-4 Schematic of anti-aliasing circuit

3.3 数据采集模块设计

3.3.1 模拟输入的主要参数

1.输入电压范围

输入电压范围是指输入到数据采集系统中的模拟信号的最高电压和最低电压之差。

2.增益

增益是指信号传输到 ADC 之前，经过信号调理电路对其的放大倍数。经过放大后，传输到 ADC 的信号可以最大程度地接近满量程，这样可以更好地恢复原始信号。这是因为对同样的电压输入范围，大信号的量化误差小，而小信号的量化误差大；一般情况下尽可能选择适宜的增益，确保输入信号的动态范围与 ADC 的输入电压范围相匹配<sup>[14]</sup>。

3.分辨率

数字采集系统中一般集成有模拟数字转换器 ADC，因此往往用 ADC 的位数表征数字采集的精度，即 ADC 的位数越多，数字采集的精度相应的也会越高，进而数字化信号的电压分辨能力越高，相应地就能更好地恢复出原始信号。当前的数字采集系统依据分辨率来划分的话，普通的初级数据采集卡的 ADC 为 8 位，其量化级数为  $2^8=256$ ；中档的数据采集卡的 ADC 为 12 位，其量化级数为  $2^{12}=4096$ ；而高档的数据采集卡的 ADC 为 16 位，其量化级数为  $2^{16}=65535$ 。

总之, 结合实际被测信号的情况, 才能选择适当的输入电压范围和增益。如果输入信号的变化量比采集系统的最小可分辨电压低的话, 相应的要将信号放大, 并且提高增益。为了使得能够捕捉到的被测信号的范围变大, 有两种方法可供参考, 即增大电压输入范围或者减小增益, 但是这样做所带来的后果就是降低了数据采集的精度; 选择小的输入电压范围或提高增益可以提高数据采集的精度, 但是会导致信号超出 ADC 的输入范围<sup>[14]</sup>。

### 3.3.2 测量系统的信号类型

一般可以将被测电压信号分为接地信号和浮地信号两种类型。

#### 1. 接地信号

所谓的接地信号, 就是将信号的一端与诸如大地或者建筑结构体引出的地等此类系统地进行连接, 从而得到接地信号。在日常生活, 可以商用屋内墙壁上引出的地线产生接地信号。对于接地信号的测量, 可以是选择不以地信号为参考的单端测量系统或者差分测量系统, 但是以地信号为参考的测量系统则会使测量结果存在较大的误差。

#### 2. 浮地信号

浮地信号是指不与各种地信号相连接的电压信号, 即浮地信号与系统地完全独立。常见的可以产生浮地信号的设备如电池和隔离放大器等。对于浮地信号的测量, 以地信号为参考的测量系统、不以地信号为参考的测量和差分测量系统都可以胜任。如果使用差分测量系统, 要确保产生的共模电压在测量系统所允许的范围之内。

### 3.3.3 测量系统的连接类型

#### 1. 以地信号为参考的单端测量系统

在以地信号为参考的单端测量系统中, 被测信号的一端与模拟通道进行连接, 而被测信号的另一端连接系统地信号。

#### 2. 不以地信号为参考的单端测量系统

在不以地信号为参考的单端测量系统中, 被测信号的一端要与模拟通道进行连接, 而另一端连接系统的公共参考端。

#### 3. 差分测量系统

在差分测量系统中, 被测信号的正端与一个模拟输入端口进行连接, 而负端则与另外一个模拟输入端口进行连接, 然后借助于多路开关与放大器的正负极进行连接。理想的差分测量系统应该能够避免测量到共模电压, 但是实际应用中不仅能测量到被测信号的正负极电压差, 还会混入共模电压, 对数据采集产生不好的影响。

### 3.3.4 测量系统的采样方式

在本设计中,数据采集系统要对加速度信号、速度信号、位移信号和包络信号分别进行采集,是一个典型的多通道数据采集系统。针对多通道数据采集,必须要平衡数据采集系统的性能和应用成本,因此选择适当的采样方式显得尤为重要。本设计中对于各种振动信号的采集共用了一块 ADC,因此要在信号传输到 ADC 之前要使用多路开关将信号进行分路采集,再通过运算放大器和采样保持电路后送入 ADC 中进行采样。一般来说,多通道的采样方式主要有 3 种:同步采样、间隔采样和循环采样。

#### 1.同步采样

同步采样是这三种采样方式中性能最好,实时性最高,但同时也是成本最高的一种采样方式。这种采集方式要求具有独立的放大器,以及相应的采样保持电路,通过一个多路开关选择不同通道的原始信号送入 ADC 中进行采样。

#### 2.间隔采样

如果采用间隔采样,那么有一个专用的采样时钟电路来控制采样频率,而且切换通道的时间间隔也会有一个专用的通道时钟来调整,通过这样的设计,间隔采样便可以解决同步采样所带来的问题。通道间切换的时间间隔受到通道时钟的影响。采集设备的最高采样速率决定了这种时间间隔,变化缓慢的信号(如温度信号和压力信号等)的间隔很小,甚至可以忽略,所以在这种条件下的采样的效果接近于同步采样<sup>[14]</sup>。

#### 3.循环采样

所谓循环采样,就是以某个固定频率通过使用多路开关对各个通道与 ADC 进行连接,从而对多路信号进行采样。但是循环采样具有自身的缺陷,即不能对多个通道进行同步采样,因为循环采样所有的通道共用一组采样保持电路和 ADC,这样多路开关在切换通道的时候,便会产生不同通道采样时刻的延时。

总的来说,如果对信号的同步性要求比较高的情况下,应该选用同步采样的采样方式。最终还是要结合实际应用需求来确定采样方式,一般来说,间隔采样能够满足大部分应用的要求,大多数采集设备也都提供这种采样方式。因此,考虑到便携式设备巡检仪对信号采集的要求,设计中选用间隔采样。

### 3.3.5 振动信号采集电路设计

在便携式设备巡检系统中,可以通过前端的一体式传感器顶在待测机械部位来获得原始的振动信号,但是有些机械的待测部分在近距离接触的时候对于巡检人员有一定的危险性,或者有些位置不方便通过一体式传感器测量,那么就要通过数据线连接分体式传感器,通过传感器底部的磁座吸附到机械的振动部位,确保得到有效和准确的数据。设计中通过加速度传感器采集振动部位的加速度信号,进一步通过积分电路

和绝对值电路得到速度信号、位移信号和包络信号，再送到 ADC 对这些信号进行数字化，然后便携式设备巡检仪结合有关算法对这些信号进行分析，给出对机械的诊断报告。设计中选用 MAXIM 公司的一款 4 通道 12 位、低功耗的串行模拟数字转换器 ADC，具有高频带宽度的采样保持特性，单电源供电，其供电电压范围是从+2.7V 到 +5.25V。该芯片可以配置为单端采样或者差分采样，并且其输入信号既可以是单极性信号，也可以是双极性信号<sup>[22]</sup>。对于振动信号的采集电路如图 3-5 所示。

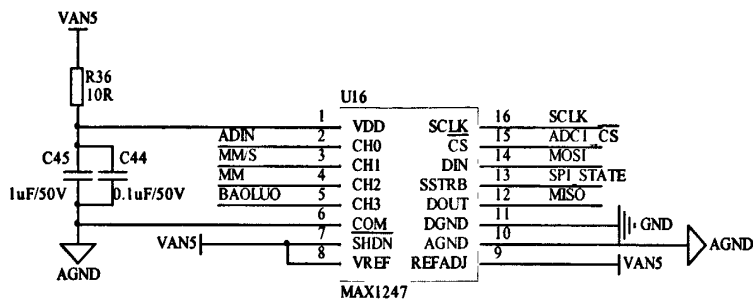


图 3-5 振动信号采样电路图

Fig 3-5 Schematic of the sampling of vibration signal circuit

3.3.6 温度信号采集电路设计

对于温度信号的采集，便携式设备巡检仪中集成有红外传感器，可以获取被测机械部位的原始温度信号，再传输到模拟数字转换器中进行数字化，最终温度值显示到巡检仪的液晶屏上，供现场巡检人员综合判断机械设备的运行状况。设计中选用 ANALOG DEVICES 公司的一款双通道、12 位的串行模拟数字转换器，最大采样率为 125kSPS，单电源供电，供电电压范围是从 2.7V 到 5.25V，该芯片支持单端或者双端输入信号<sup>[23]</sup>。对温度信号的采样电路如图 3-6 所示。

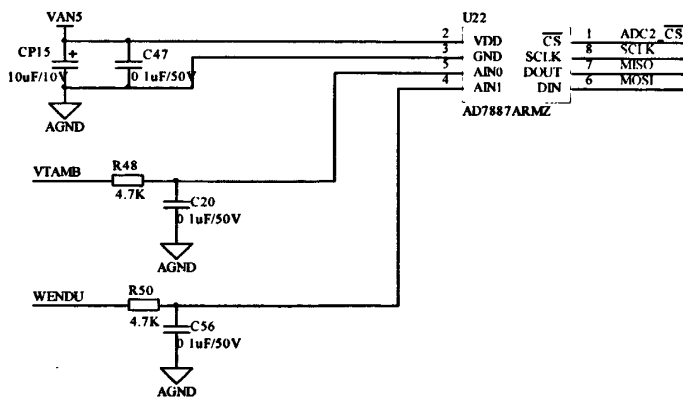


图 3-6 温度信号采样电路图

Fig 3-6 Schematic of the sampling of temperature signal circuit

## 3.4 微处理器模块设计

### 3.4.1 DSP 处理器

由德州仪器所设计和生产的 TMS320F2812 是一款专门针对设计控制所设计的数字信号处理器,继承了 DSP 和微控制器的优点,广泛应用于嵌入式产品。TMS320F2812 支持全新的 CCSStudio,提供 C 语言直接嵌入汇编语言的程序开发模式,并且支持 IQ-math 函数库,实现了使用定点 DSP 计算机浮点运算算法的功能,大大提高了运算的精度和速度。TMS320F2812 的内部模块和资源<sup>[24]</sup>:

#### 1.高性能静态 CMOS 技术

- (1)通过倍频后最高主频可以达到 150MHz,即时钟周期为 6.67ns。
- (2)低功耗省电设计,TMS320F2812 的 Core 供电电压为 1.8V,I/O 供电电压为 3.3V。

#### 2.支持 JTAG 扫描,可以通过 JTAG 接口连接仿真器,进行实时仿真。

#### 3.高效 32 位 CPU

- (1)哈弗总线结构。
- (2)快速中断响应。
- (3)16\*16 MAC Operations 和 32\*32 MAC Operations。
- (4)拥有 4M 连续程序寻址空间。
- (5)拥有 4M 连续数据寻址空间。
- (6)兼容 TMS320F24X/LF240X 的程序。

#### 4.片上存储空间

- (1)128\*16 Flash 空间包含 4 个 8K\*16Flash 和 6 个 16K\*16Flash。
- (2)1K\*16 的单次程序只读存储器。
- (3)L0 与 L1: 2 个 4K\*16 的 SARAM。
- (4)H0: 1 个 1K\*16 的 SARAM。
- (5)M0 和 M1: 2 个 1K\*16 的 SARAM。

芯片上总共包含 128K\*16 的 Flash 和 18K\*16 的 SARAM。

#### 5.外部扩展接口

- (1)支持 1M 的外部存储器。
- (2)3 个独立的芯片选择引脚。

#### 6.频率与系统控制

- (1)支持动态锁相环 PLL。
- (2)片内集成振荡器。
- (3)片内集成看门狗定时器模块。

#### 7.具有三个外部中断引脚

## 8. PIE 中断向量

### 9.3 个 32 位的 CPU 定时器

### 10.2 个时间管理模块 EVA、EVB

## 11. 丰富的外设接口

(1) 1 个同步串行外设接口 SPI。

(2) 2 个异步串行通信接口 SCI。

(3) eCAN(Enhanced Control Area Network)。

(4) McBSP with SPI mode。

### 12. 16 通道 12 位模拟-数字转换器 ADC

(1) 具有 2 个独立的 8 通道 12 位 ADC。

(2) 具有 2 个独立的采样-保持电路。

(3) 可配置为单一或者同步转换。

(4) 快速的转换率, 高达 80ns/12.5MSPS。

### 3.4.2 时钟电路

时钟电路为 DSP 系统内部各个模块提供一个准确的基本时钟参考, 可以用于实现计时、计数器、时间中断等功能。由于 TMS320F2812 内部集成有振荡器, 设计中采用 20MHz 的无缘晶体, 通过 DSP 的锁相环进行 5 倍频, 为 DSP 系统提供一个高精度的 100MHz 时钟, 保证了系统各个模块稳定、有序的运行。

### 3.4.3 电源开关电路

电源开关电路的主要作用是为一便携式设备巡检仪开启和关闭供电系统。在本设计中, 选用 Linear 公司的一款按键开关控制器芯片, 它的工作电压跨度很大, 范围是从 2.7V 到 26V, 供电电流低至 6uA 使得该芯片非常适用于电池供电的系统。当按下电源按钮后, EN 会产生一个高电平, 启动电源芯片对 DSP 系统进行供电。而使 EN 产生低电平, 关闭电源供电系统的条件是:

(1) 当按下电源开关按键后, 在 512ms 之内没有将 KILL 端拉为高电平。

(2) 在系统正常运行时, 将 KILL 端拉为低电平。

(3) 第二次按下电源开关按键。

便携式设备巡检仪电源开关电路如图 3-7 所示。

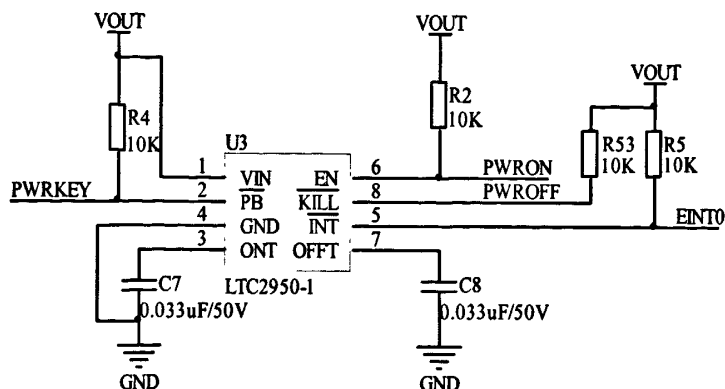


图 3-7 电源开关路图

Fig 3-7 Schematic of Power On/Off

### 3.4.4 复位电路

复位电路是单片机最小系统或者 DSP 最小系统不可或缺的一部分，对系统的稳定运行发挥着至关重要的作用。复位，顾名思义，恢复初始状态。DSP 准备运行之前，必须规定寄存器初始值，简历中断向量表，外部器件初始化，这些工作全部要由复位电路完成。复位一般分上电复位、外部复位和看门狗复位等。在本设计中，采用 MAXIM 公司的一款复位芯片，当 Vcc 供电电压低于预设值的门限电压时，它会产生一个复位信号，直到 Vcc 高于门限电压后这个信号仍然会持续至少 140ms。复位电路电路图如图 3-8 下所示：

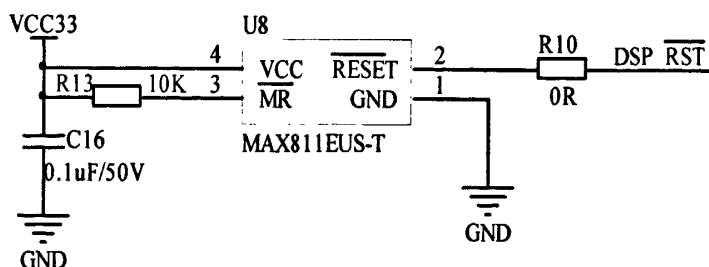


图 3-8 复位电路图

Fig 3-8 Schematic of Reset Circuit

### 3.4.5 SRAM 存储扩展电路

SRAM 是英文 Static RAM 的缩写，它是一种具有静态存储功能的内存，不需要刷新电路即能保存内部存储的数据。因此，SRAM 具有速度快，不必配合内存刷新电路，

整体工作效率高的特点，但是功耗较大和价格偏高的缺点也不能忽略。在本设计中，通过 TMS320F2812 的 XINTF 接口扩展了 2 块 512K\*16 的 SRAM，用于操作图形用户界面(GUI)图片，缩短切换系统显示界面的时间，刷新对液晶显示的操作。这里选用 CYPRESS 公司的一款 SRAM 芯片，它是一种高性能 CMOS 静态 RAM，存储容量为 512K\*16。TMS320F2812 扩展 SRAM 存储器电路图如图 3-9 所以。

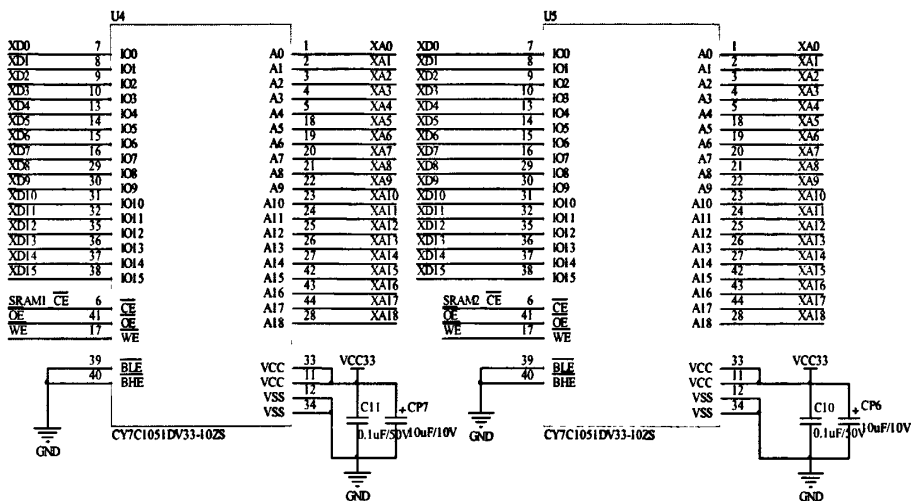


图 3-9 扩展 SRAM 存储器电路图

Fig 3-9 Schematic of extended SRAM

3. 4. 6 Flash 存储扩展电路

TMS320F2812 内部集成了 128K\*16 的 Flash，本设计将系统的启动代码存放到内部 Flash 中运行。由于便携式设备巡检仪中集成液晶显示模块，设计中通过 TMS320F2812 的 SPI 接口扩展了 2 块 64megabit 的串行 Flash，用于存放巡检仪的分析数据和大量的图形用户界面(GUI)图片。设计中采用 ATMEL 公司一款串行 Flash 芯片，这款芯片是供电范围为从 2.7V 至 3.3V 单电源供电的双端口 Flash，适用于存储声音、图像、程序代码和数据的应用。这款芯片的双端口可以通过专用串行接口连接到 DSP，或者通过专用的并行接口连接到微控制器。引脚规范如表 3-1 所示。

表 3-1 并行接口引脚规范  
Table 3-1 Specifitation of parallel interface

| 引脚号       | 功能        |
|-----------|-----------|
| /CS       | 片选信号      |
| SCK/CLK   | 串行时钟      |
| SI        | 串行输入      |
| SO        | 串行输出      |
| I/O7-I/O0 | 并行输入输出    |
| /WP       | 页面写保护引脚   |
| /RESET    | 芯片复位      |
| RDY/BUSY  | 准备好/盲信号   |
| SER/PAR   | 串行/并行接口控制 |

TMS320F2812 扩展 Flash 存储器电路图如图 3-10 所示：

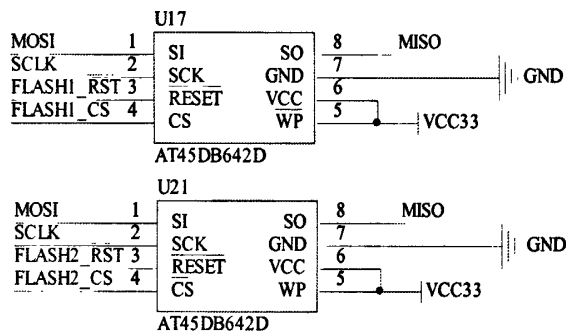


图 3-10 扩展 Flash 存储器电路图  
Fig 3-10 Schematic of serial extended Flash

3.4.7 液晶接口电路

设计中采用 2.0 寸 176\*220 点阵式 TFT 彩色液晶屏，这款液晶屏被大量应用于手机制造领域，具有亮度高、分辨率适中、色彩饱和度好等特点，十分适合便携式设备巡检仪显示分析数据的时序波形和频谱，为营造良好的人机交互环境提供了有力的支持。液晶屏的工作电压 VDD 范围是从 2.4V 到 3.3V，输入高电平范围为 0.8VDD 到 VDD，输入低电平范围是从 0 到 0.2VDD。液晶接口的接口规范如表 3-2 所示。

表 3-2 液晶接口的接口规范  
Table 3-2 Specification of LCD interface

| 引脚号 | 终端     | 功能       |
|-----|--------|----------|
| 1   | DUMMY1 | 扩展引脚     |
| 2   | GND1   | 模拟电路地    |
| 3   | VCC1   | 内部逻辑电路电源 |

---

|    |        |                                           |
|----|--------|-------------------------------------------|
| 4  | CS     | 片选信号<br>低电平：可以对芯片操作<br>高电平：不可以对芯片操作       |
| 5  | RS     | 寄存器索引或寄存器命令选择信号<br>低电平：寄存器索引<br>高电平：寄存器命令 |
| 6  | /WR    | 写时钟，低电平有效                                 |
| 7  | /RD    | 读时钟，低电平有效                                 |
| 8  | IM0    | 通过 IM0 和 IM3 选择 MPU 接口类型（8 位、9 位、16 位）    |
| 9  | DB0    | MPU 接口                                    |
| 10 | DB1    | 18 位：连接 DB17-0                            |
| 11 | DB2    | 16 位：连接 DB17-0 和 DB8-1                    |
| 12 | DB3    |                                           |
| 13 | DB4    |                                           |
| 14 | DB5    |                                           |
| 15 | DB6    |                                           |
| 16 | DB7    |                                           |
| 17 | DB8    |                                           |
| 18 | IM3    | 通过 IM0 和 IM3 选择 MPU 接口类型（8 位、9 位、16 位）    |
| 19 | DB9    | MPU 接口                                    |
| 20 | DB10   | 18 位：连接 DB17-0                            |
| 21 | DB11   | 16 位：连接 DB17-0 和 DB8-1                    |
| 22 | DB12   | 9 位：连接 DB17-9                             |
| 23 | DB13   | 8 位：连接 DB17-10                            |
| 24 | DB14   |                                           |
| 25 | DB15   |                                           |
| 26 | DB16   |                                           |
| 27 | DB17   |                                           |
| 28 | RESET  | 重置引脚，低电平有效                                |
| 29 | VC1    | 升压电路的电源                                   |
| 30 | VCC2   | 内部逻辑电路的电源                                 |
| 31 | GND2   | 模拟电路地                                     |
| 32 | DUMMY2 | 扩展引脚                                      |

---

TMS320F2812 液晶扩展接口电路图如图 3-11 所示。

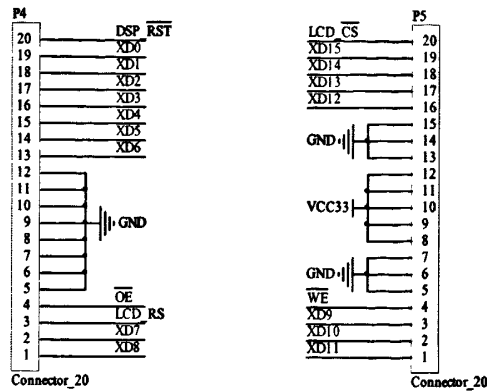


图 3-11 液晶扩展接口电路图  
Fig 3-11 Schematic of LCD interface

### 3.4.8 USB 接口电路

以前的外部设备是通过 RS232、RS485、并行接口、PCI 接口和 PS/2 接口等老式专用接口来实现与计算机进行通信。与老式计算机接口相比，USB 接口具有以下优点<sup>[25]</sup>：

1.接口小巧。USB 接口具有很明显的体积优势，顺应了计算机和外部设备小型化的发展趋势；

2.共享式接口。USB 接口采用了“菊花链”的连接方式，支持多个外设连接，通过 USB 集线器，一个 USB 主控制器最多可以连接 126 个外设，大大拓展了计算机的外部功能扩展能力；

3.支持即插即用和热插拔。当 USB 设备连接到计算机的时候，系统会自动检测这个设备，并加载对应的驱动程序，这样，USB 实现了自动配置，用户无需任何手动配置，连接设备不需要重新启动计算机；

4.支持多种操作。目前 USB 支持 3 种传输速率：低速 1.5Mbit/s、全速 12Mbit/s 和高速 480Mbit/s，同时，USB 还支持 4 种类型的传输模式：块传输、中断传输、同步传输和控制传输，可以满足不同外设的功能需要；

5.提供电源。计算机上的 USB 接口可以向外提供一定功率的电源，其输出电流的最小值为 100mA，最大为 500mA，输出电压为 5V，并且 USB 协议中规定了完备的电源管理方式，如果外部设备耗电不大，可以考虑使用 USB 接口直接供电，十分方便；

6.良好的兼容性。USB 规范发展至今已有 USB1.0、USB1.1、USB2.0、无线 USB 和 USB OTG 等多个版本协议，这些协议都具有很好的向下兼容性。

由于本课题所采用的 TMS320F2812 内部没有集成 USB 接口控制模块，但是为了

发挥 USB 接口的独特优势以及通用性, 所以使用一款 CYPRESS 公司的串口转 USB 芯片, 实现通过 TMS320F2812 内部集成串口模块控制 USB 接口与上位机进行通信的功能, 有效地解决了接口规范与通用的问题。本课题所采用的 USB 转串口芯片工作电压为 3.3V, 支持 RS232 转 USB 功能, 低速 1.5Mbit/s 传输模式和全速 12Mbit/s 传输模式。RS232 转换 USB 电路如图 3-12 所示, USB 接口电路如图 3-13 所示。

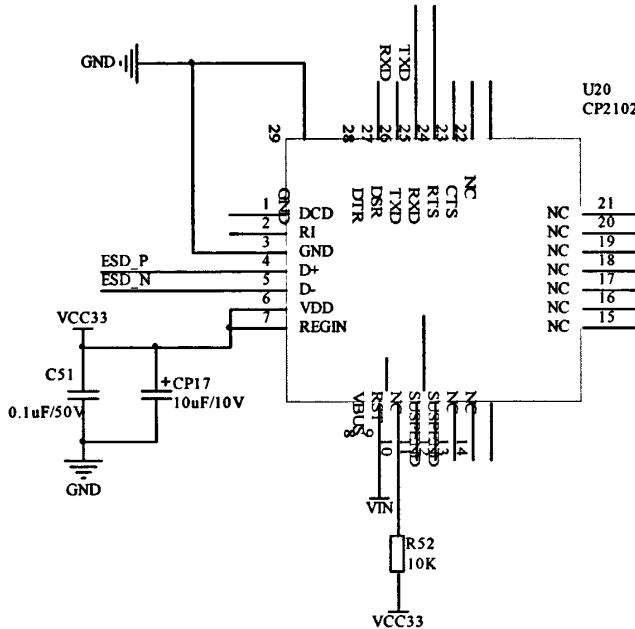


图 3-12 RS232 转 USB 电路图

Fig 3-12 Schematic of RS232 converting USB

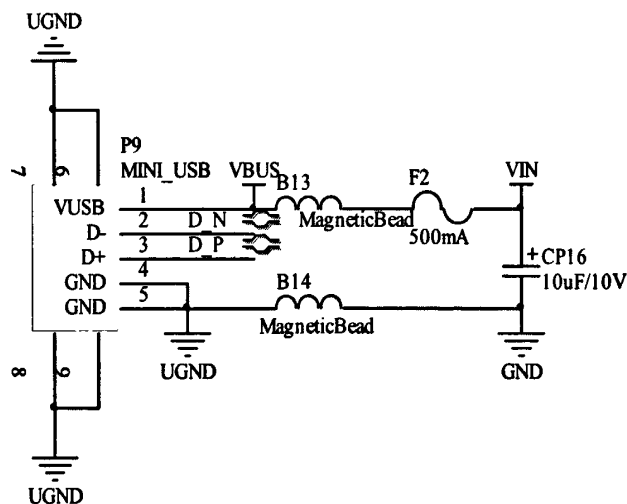


图 3-13 USB 接口电路图

Fig 3-13 Schematic of USB interface

### 3.4.9 键盘电路

便携式设备巡检设计了 5 个功能按键，集成在一块独立的按键板上，通过数据排线将按键接口与主板连接起来。5 个功能按键：KEY-1 表示上移键，KEY-2 表示下移键，KEY-3 表示确认键，KEY-4 表示退出键，PWRKEY 表示电源开关。PWRKEY 单独与电源开关电路相连，而 KEY-1、KEY-2、KEY-3、KEY-4 不但连接到按键扫描电路上，而且还要与 TMS320F2812 的通用 IO 接口进行连接。按键扫描电路的工作原理是当 KEY-1、KEY-2、KEY-3、KEY-4 中有按键被按下时，按键扫描电路会产生一个按键中断信号，并且将这个信号送到 TMS320F2812 的外部中断引脚。这样，TMS320F2812 可以响应中断，并且通过通用 IO 口检测到哪个按键被按下，进而进入这个按键所对应的子程序，完成按键所对应的特定功能。按键接口电路如图 3-14 所示，按键扫描电路如图 3-15 所示。

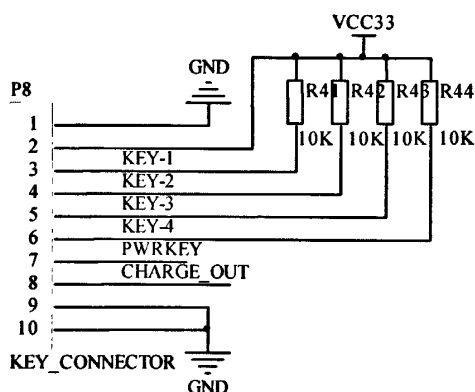


图 3-14 按键接口电路图

Fig 3-14 Schematic of button interface

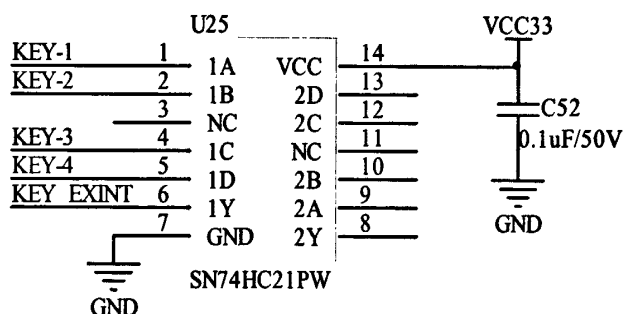


图 3-15 按键扫描电路图

Fig 3-15 Schematic of key scanning

### 3.5 电源模块设计

#### 3.5.1 模拟电路电源

便携式设备巡检系统的模拟电路需要+5V 和+3.3V 电源供电，而系统采用的是锂离子电池供电，而电池的输出电压范围从+3.3V 到+4.2V，因此需要通过 DC-DC 芯片进行电压转换。

现在，DC-DC 升压转换的常用方法有电荷泵模式和 PWM 模式，电荷泵模式需要的外围元件少，一般只需要四个电容就可以完成电压转换，但是其输出电压纹波往往比较大，适用于对电源信号要求不高的场合；PWM 模式相比需要的外围元件较多，而且需要电感，其输出电压纹波小，通常用于要求电源信号稳定的场合。基于本系统对电源信号要求比较高，基本采用 PWM 模式进行 DC-DC 转换<sup>[14]</sup>。

##### 1.+3.3V 电源的设计

在本设计中，+3.3V 电源不但要给数字电路供电，还要给模拟电路供电，通过在输出端应用磁珠将+3.3V 的数字输出与模拟输出隔离开，从而避免模拟电路对数字电路的干扰。设计中选用 Linear 公司的一款 DC-DC 芯片，具有高达 96% 的转换效率，输出负载电流近 600mA，最高 2MHz 的内部转换时钟，完全能满足需要+3.3V 电源供电的外设，其电路原理图如图 3-16 所示。

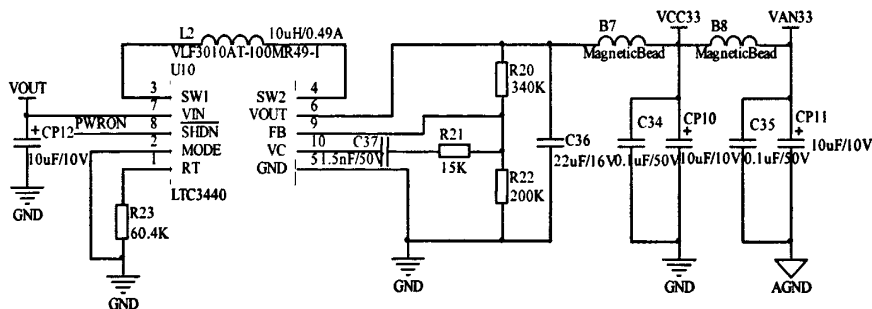


图 3-16 +3.3V 电源电路图

Fig 3-16 Schematic of +3.3V power circuit

##### 2.+5V 电源的设计

在本设计中，+5V 电源仅需要对模拟电路供电，选用 Linear 公司的一款 DC-DC 芯片，具有高达 94% 的转换效率，输出负载电流近 150mA，能够满足设计需要，其供电电路原理图如图 3-17 所示。

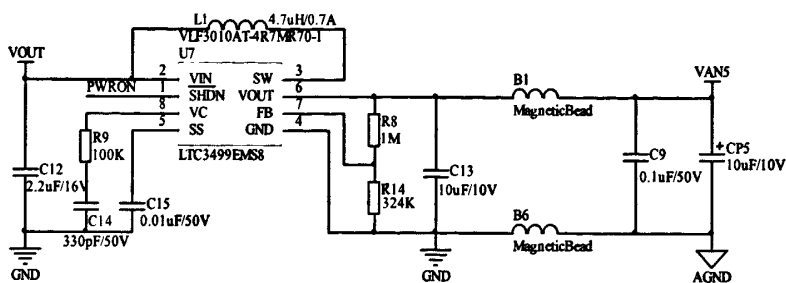


图 3-17 +5V 电源电路图

Fig 3-17 Schematic of +5V power circuit

### 3.5.2 数字电路电源

TMS320F2812 属于典型的双电源 DSP 系统, 即内核 1.8V, I/O 3.3V。当采用双电源器件芯片设计系统时, 尤其要注意系统的内核以及 IO 之间的相对电压, 内核以及 IO 在系统上电过程中的相对次序, 以及在系统掉电过程中的掉电次序。通常情况下, 在芯片内部内核和外部 I/O 模块之间采用独立的供电结构(内核和外部 I/O 模块)之间产生电流, 从而影响系统的初始化状态, 甚至影响器件的寿命, 而且隔离模块之间的电流还会出发器件本身的闭锁保护<sup>[24]</sup>。

现实中设计 DSP 系统时, 控制内核和 I/O 上电次序是为了防止 DSP 的 I/O 引脚与外设之间的总线冲突。由于总线的控制逻辑位于 DSP 内核模块, I/O 供电限于内核供电会使 DSP 和外设同时配置成输出功能引脚, 因此规范的上电、掉电次序(内核先上电后掉电)是保证系统可靠性, 以及延长器件使用寿命的一种有效措施。在 TMS320F2812 数据手册中, 对于上电顺序的问题提供了以下两种解决方案<sup>[24]</sup>:

1. 首先对 I/O 上电(3.3V), 然后对内核上电(1.8V), 最后对 DSP 的 Flash 和 ADC 模块上电(3.3V);

2. 首先对所有 3.3V 供电的引脚上电, 包括 I/O、Flash 和 ADC。然后再对所有 1.8V 供电的引脚上电, 即对内核上电。

对于便携式设备巡检仪的供电管理方式, 采用第二种方式为 TMS320F2812 供电。电源管理模块结构图如图 3-18 所示。

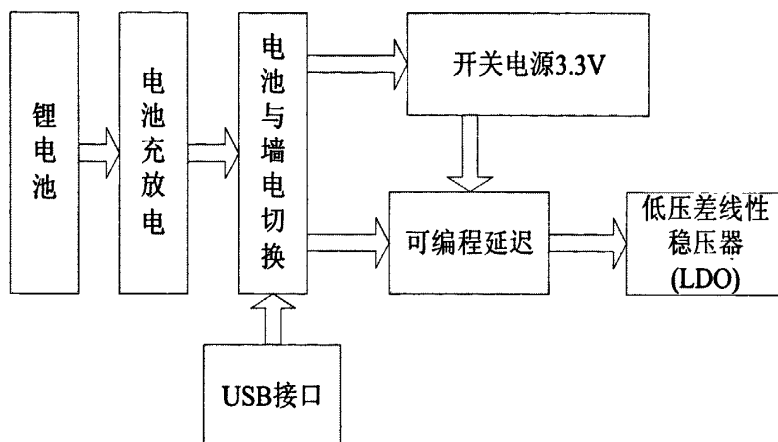


图 3-18 电源模块结构图

Fig 3-18 Block diagram of power

由开关电源产生的 3.3V 电压不但为 TMS320F2812 供电，还要为复位电路、电池电量监测电路、外扩 Flash 存储器、外扩 SRAM 存储器等数字电路供电。对于可编程延迟电路，选用 TPS3808G33 这款芯片配合外围电阻、电容去实现。首先根据系统要求确定 3.3V 与 1.8V 供电之间的延迟时间 Delay，通过将芯片 CT 端的电容(图 3-19 中的 C42)接地，并且按照如下公式<sup>[26]</sup>：

$$Delay(s) = \frac{C_T(nF)}{175} + 0.5 \times 10^{-3}(s)$$

计算出 CT 端电容的容值，实现延迟的可编程功能。可编程延迟电路的原理图如图 3-19 所示。

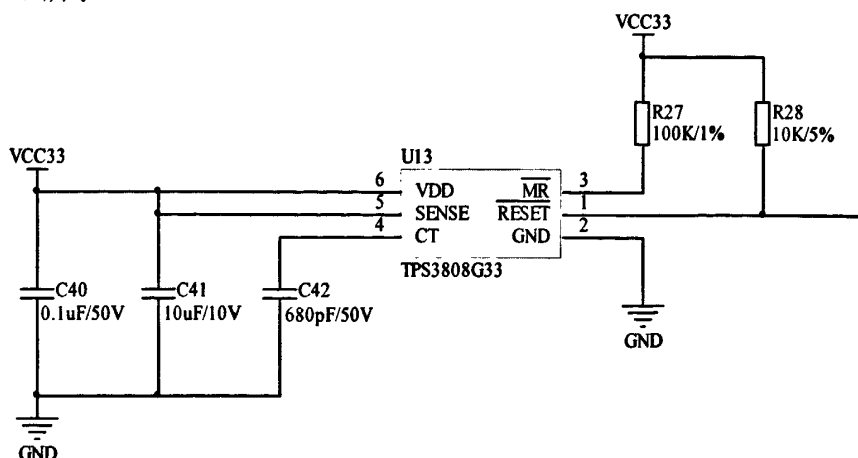


图 3-19 电源模块结构图

Fig 3-19 Block diagram of power

### 3.5.3 电池充放电电路

本设计中, 电池充放电电路选用 Linear 公司的 LTC4412 和 LTC4054 配合实现。LTC4412 具有外部控制和自动控制两种工作模式, 本设计中采用自动控制模式; 在自动控制模式中, 将 CTL 接地,  $V_{in}$  与电源端接通, SENSE 接负载端, GATE 使用外部 P 沟道 MOSFET 控制  $V_{in}$  到 SENSE 的压降为 20mV, 大大地低于常规二极管; 当 SENSE 端电压高于  $V_{in}$  端 20mV 时, 通过 P 沟道 MOSFET 的作用, GATE 切断  $V_{in}$  与 SENSE 之间的电源通道<sup>[27]</sup>。

LTC4054 是一款充电限制电压为 4.2V, 最大充电电流达到 800mA 的适用于对锂电池充电的恒流充电芯片; 并且在充电过程中, 当芯片过热的时候, 会自动切断充电通道, 等待芯片温度降到正常范围后继续充电, 在一定程度上保护了芯片, 延长了芯片的使用寿命; 当电源端电压值降低到比 BAT 端电压低 30mV 的时候, 芯片将进入反向漏电保护模式, 有效地将电池反向漏电电流控制在 2uA 一下, 达到了很好的效果<sup>[28]</sup>。电池充放电电路如图 3-20 所示。

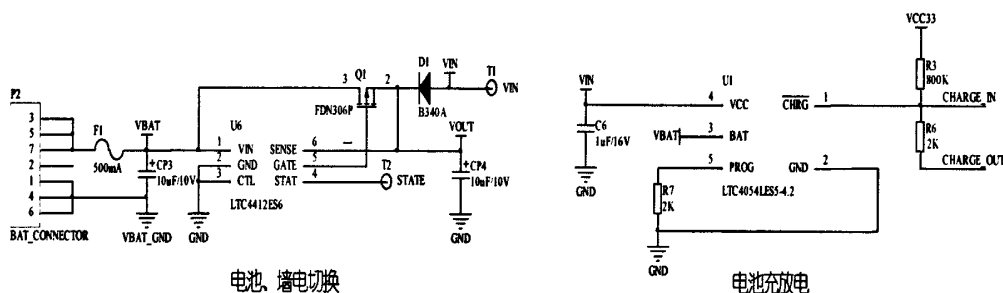


图 3-20 电池充放电电路图

Fig 3-20 Schematic of battery charging and discharging

### 3.5.4 电池电量检测电路

便携式设备巡检仪应用在工业现场时, 整个系统完全由锂电池供电, 因此系统的低功耗设计非常重要。同时, 在设计巡检仪时必须方便工作人员实时地监测到电池的电量, 以便于及时地保存和上传巡检仪分析的数据、波形等重要信息。因此, 电池电量监测的准确性、实时性有利于保障便携式设备巡检仪高效地在工业现场可持续运行。这里选用 DS2786 这款芯片配合外围的电阻、电容实现对电池电量的监测。在进行布局布线时, 注意将 VSS 端与 SNS 端跨接的电阻 R37 靠近锂电池的地放置和连接, 因为 DS2786 正是通过这个电阻监测整个系统回流的电流。测量电阻与电池地的就近放置和连接, 能够更好地发挥 DS2786 芯片的性能, 保证了电池电量监测的准确性。电池电量监测电路原理图如图 3-21 所示。

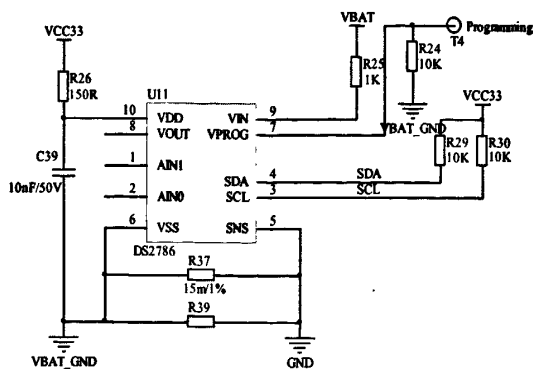


图 3-21 电池电量监测电路图

Fig 3-21 Schematic of battery's power monitoring

### 3.6 对关键信号仿真与硬件系统改进

在过去的时间里，人们普遍认为光速很快，但是如今随着电子技术的高速发展，人类已经学会在电路板上控制皮秒级别的信号完整性和电磁兼容了。集成电路芯片构成的电子系统正在朝着大规模、小体积、高速度的方向发展的同时，带来了一系列问题，即芯片的体积减小导致电路的布局布线密度变大。集成电路输出开关速度在提高，而同时信号的频率也在提高，这些系统工作在高频甚至是超高频，电路板上的传导部分已经不再单纯地像低频时的简单的点对点的连线了，而是具有了高频特性的传输线，他们开始从邻近的元器件或者走线接收以及发送电信号。传统的 PCB 设计流程主要包括原理图设计、布局、布线、优化等 4 个主要步骤，基于没有相应的信号完整性分析和电磁兼容设计，无法准确地控制高速电路的信号质量，严重浪费制作 PCB 的成本，降低了硬件设计和研发的效率。今天，针对高速 PCB 设计，业界提出了一种建立在实时仿真基础上优化的高效设计流程，节约了成本，缩短了设计和调试的周期，如图 3-22 所示。本设计采用 Mentor Graphics 公司的 HyperLynx 仿真软件来辅助优化便携式设备巡检仪的硬件设计，借助 HyperLynx 软件进行仿真，要使用元器件的 IBIS 模型，可以到各大元器件厂商的网站上下载。

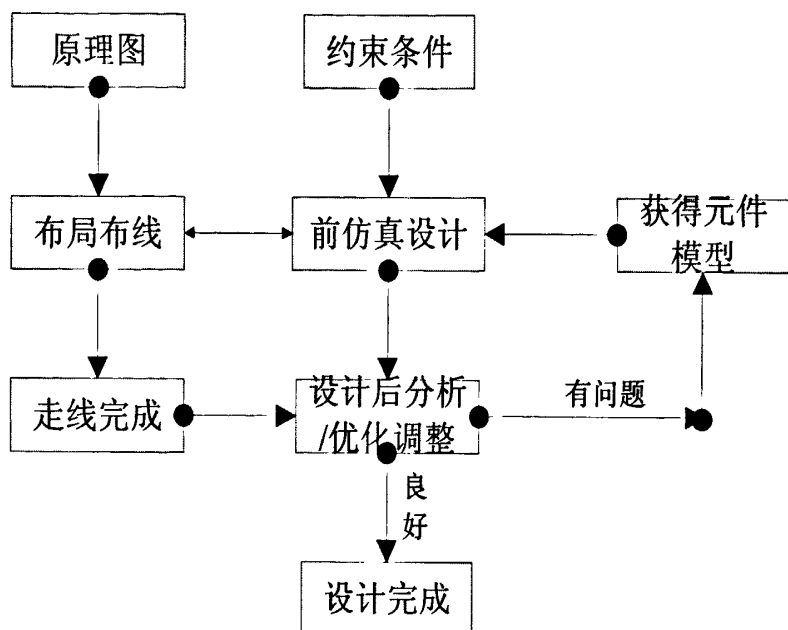


图 3-22 PCB 高效流程设计图

Fig 3-22 The effective design diagram of PCB

在传统的电路分析中，将涉及的网络作为集总参数系统。集总参数系统是一种理想化的模型，它的基本特性可归纳为<sup>[29]</sup>：

1. 电磁感应现象集中用电感元件表达，电荷集中在电容元件上存储；
2. 忽略信号线之间的传输时间；
3. 电压与电流是瞬时变化，仅仅是时间的函数。

但是，实际情况是各种参数分布在电路所在的空间各处。对于高速信号，这种分散性造成的信号延时时间与信号本身的变化时间相比已不能忽略，因此应该将网络作为一个分布参数系统，信号之间的互连线要按照传输线模型处理，传输线的基本特征可以归纳为<sup>[29]</sup>：

1. 阻抗、容抗、感抗存在于传输空间的各个点上；
2. 信号传输需要时间。信号在传输过程中的质量与传输时间、传输线的长度等因素有关；
3. 在分布参数系统中，信号不是孤立的时间函数，而是时间与空间的函数。

### 3.6.1 USB 接口差分数据信号的仿真

便携式设备巡检仪采用 USB 接口与上位机通信，对于 USB 接口的数据线采用差分布线的方式，以保证信号传输的质量，抑制干扰。通常认为信号在传输时采用 3 种方式：单点对单点、差分模式和共模模式。相比于单点对单点模式，差分信号有着明

显的不足，就是它需要两根走线，如果 PCB 上信号都采用差分布线的方式，可以想象电路设计者会陷入很大的绝境。但是差分信号又有着其不可替代的优点<sup>[29]</sup>：

1. 差分信号在低电平应用的角度来讲是非常有效的。因为如果一个信号的电平非常低，那么这个信号就比较容易受到其他信号的干扰，而差分信号使这个信号的电平加倍；

2. 由于差分信号是电平相同而且反向的两根信号，那么就不需要参考平面作为信号回路，这样就不需要地平面或电源平面的连续性和完整性；

3. 如果两根信号都存在噪声干扰，那么通过相减，噪声可以被抵消，因此差分信号对信号干扰有着天然的免疫力；

4. 相对于单点信号，差分信号的开关时序会比较精确，因为单点信号受到噪声干扰后时序或占空比通常会发生变化。

对于差分布线，如果两根信号线的长度不相等，在接收端收到的信号的相位会发生变化，因此进行差分布线时，要将差分信号约束为等长布线。对于 USB 的差分信号仿真图如图 3-23 所示。

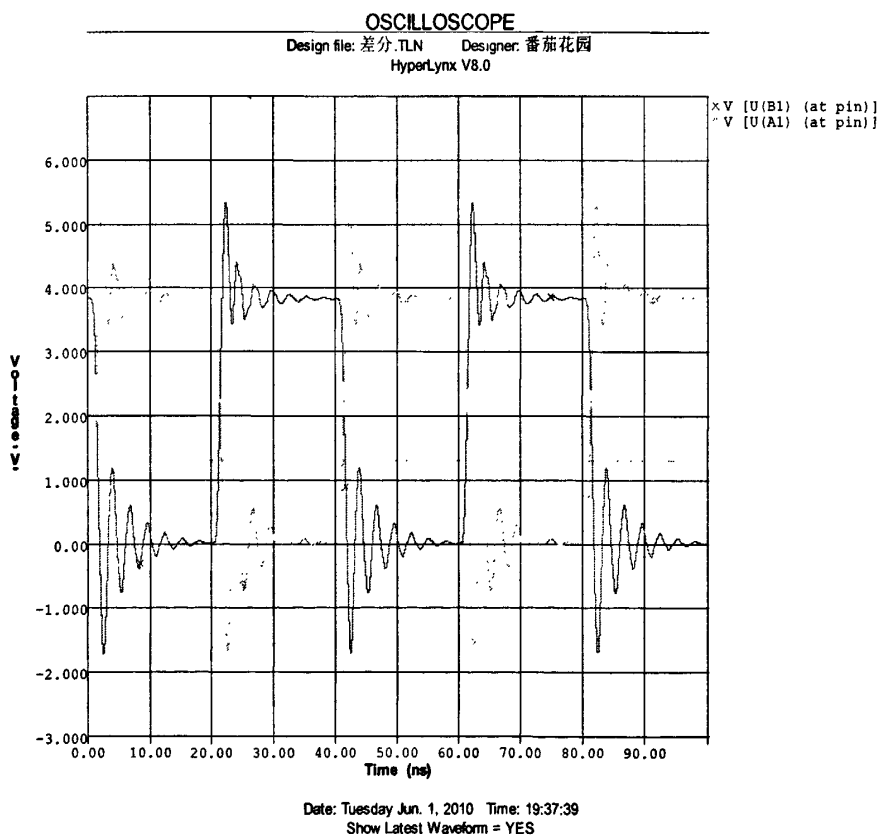


图 3-23 没有端接电阻的差分信号仿真图

Fig 3-23 Simulation diagram of differential signal without terminal resistor

图 3-23 横坐标表示时间，单位为 ns，范围从 0ns 到 100ns，间隔为 10ns；纵坐标表示电压，单位为 V，范围从 -3V 到 7V，间隔为 1V。由图 3-7 中可以观察到，没有端接电阻的差分信号存在的较强的过冲和振铃现象，容易引起时钟或数据的误判。针

对这种现象,通过 HyperLynx 计算出差分阻抗为 159 欧姆,而实际中只能买到相近的 160 欧姆电阻。因此通过在差分信号接收端端接 160 欧姆电阻来优化差分布线,改善差分信号存在的过冲和振铃现象。经过优化,端接了 160 欧姆电阻的差分信号仿真图如图 3-24 所示。

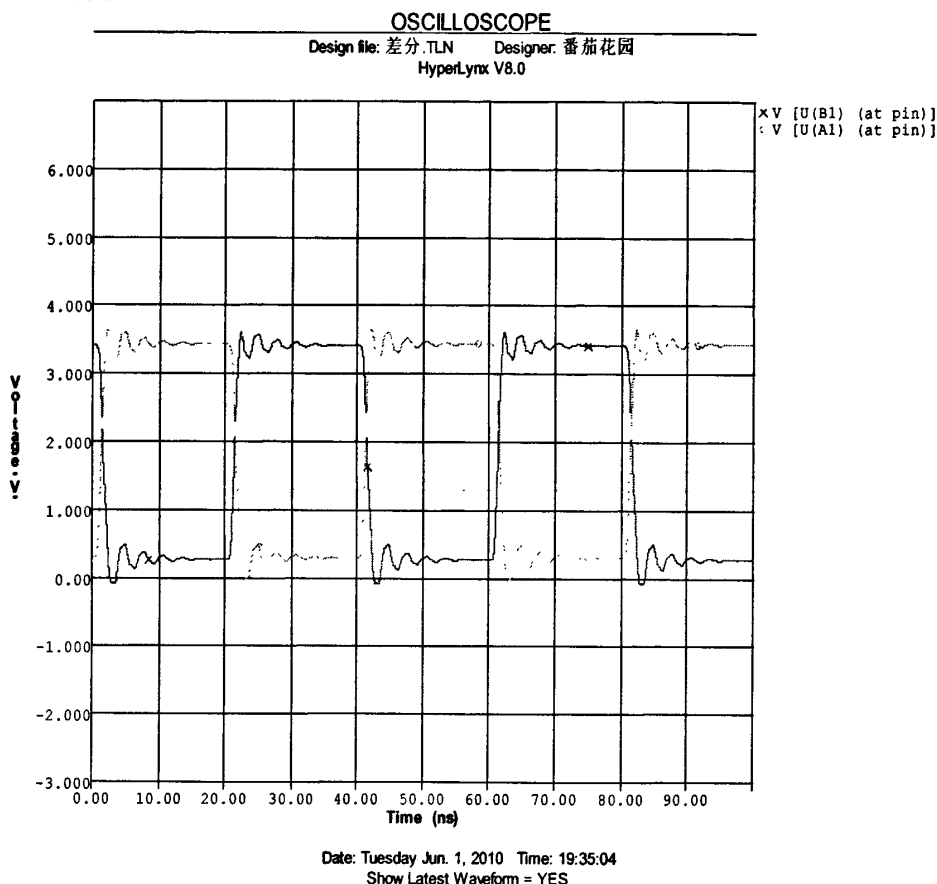


图 3-24 数据线之间串扰仿真图

Fig 3-24 Simulation diagram of differential signal with 160 Ohm terminal resistor

图 3-24 横坐标表示时间,单位为 ns,范围从 0ns 到 100ns,间隔为 10ns;纵坐标表示电压,单位为 V,范围从 -3V 到 7V,间隔为 1V。由图 3-8 可以观察到,经过端接 160 欧姆电阻优化后,差分信号线的过冲和振铃现象得到了很好的抑制。

### 3.6.2 串扰信号的仿真

由于 TMS320F2812 系统工作频率高达 150MHz,因此 TMS320F2812 与 SRAM 之间进行数据交换的 16 条数据线之间存在的串扰,需要通过仿真进行分析,不能忽略。串扰是信号线之间的耦合,信号线之间的互感和互容引起的噪声。多条传输线之间的耦合和串扰,会产生十分严重的后果<sup>[29]</sup>。

1.串扰将会对信号在传输过程中的质量和信号完整性产生不良的影响,改变传输线的阻抗,扰乱信号在传输过程中的速度;

2.串扰会使传输线之间互相干扰，将噪声等辐射到其他传输线上，严重影响信号在传输过程中的质量。

在仿真过程中，选择了相邻的 3 条数据线，XD0、XD1 和 XD2。XD1 的驱动端设置为方波信号，XD2 和 XD3 驱动端设置为低电平。这样，可以通过观察 XD2 和 XD3 接收端耦合到的信号，来分析 XD1 信号对 XD2 和 XD3 的串扰情况。数据线之间的串扰仿真图如图 3-25 所示。

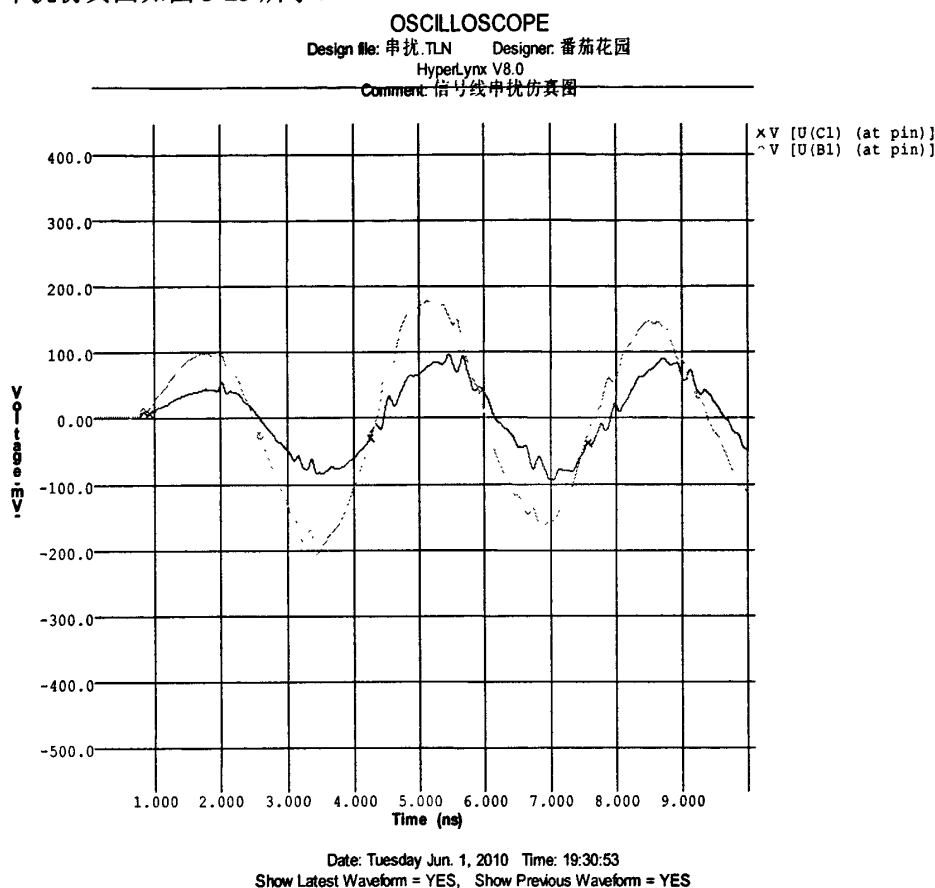


图 3-25 数据线之间串扰仿真图

Fig 3-25 Simulation diagram of crosstalk between data lines

在图 3-25 中可以观察到，与 XD3 相比，XD1 对 XD2 的串扰更大，是因为 XD1 与 XD2 数据线之间的距离比较近，通过将两条传输线之间的距离增大，可以抑制数据线之间的串扰。通过仿真分析，数据线之间的串扰信号在 100mV 左右，较为微弱，不会影响到传输过程中数字信号高低电平的判断。因此，TMS320F2812 与 SRAM 之间数据线的布线方式是合理的。

## 第四章 系统软件相关设计

基于对软件进行维护和升级的便利性和成本的考虑，巡检管理软件采用模块化设计，包含程控信号调理模块、数据采集模块、液晶显示模块、存储模块和接口通信模块等。系统管理模块是整个程序的核心，负责协调和管理整个软件系统。软件系统结构图如图 4-1 所示。

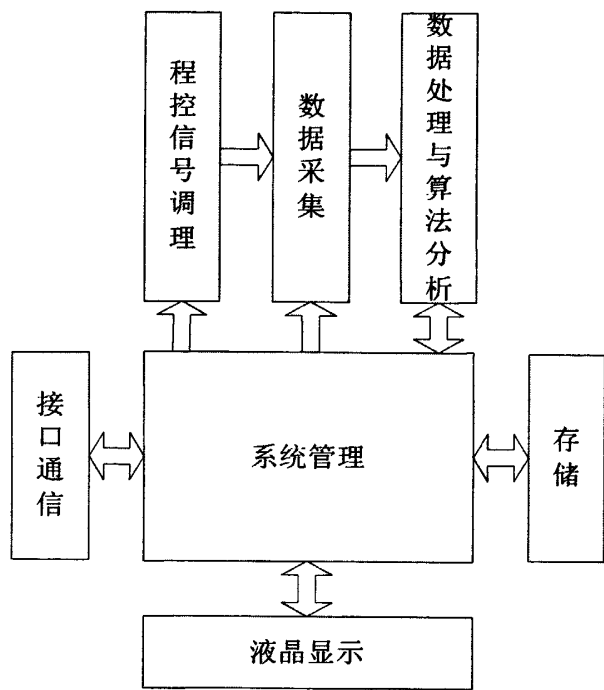


图 4-1 软件系统结构图

Fig 4-1 Diagram of software system

### 4.1 软件开关环境 CCS 概述

由 TI 公司自主研发的 CCS 是一款专门针对 TI 公司生产的数字处理器 DSP 的开发工具。CCS 十分类似于在 PC 上面运行的 Microsoft 公司开发 Visual Studio 的集成开发环境，区别只在于 PC 使用的开发环境不需要连接硬件，可执行代码在 PC 上可以直接运行；而采用 CCS 软件开发产品，需要将开发环境与硬件平台进行连接，即要在 PC 上使用 CCS 编辑、编译和链接产生可执行代码，然后下载到带有 DSP 的实时硬件平台上运行调试。此外，用户可以选择将 CCS 配置为 Simulator 模式下调试程序，不需要连接硬件，但是采用 Simulator 仅仅局限于调试一些基本信号处理或控制算法，代码执行效率和评估和优化往往很难实现。利用 CCS 集成开发环境，用户可以在一个开发环境下完成工程定义、程序编辑、编译链接、调试和数据分析等工作。在 CCS 集成开发环境中，很多功能是所有 DSP 平台都需要而且常用的，这些功能是调试一个

DSP 系统的基本环境基础。

基于 CCS 支持 TI 公司大多数 DSP 的开发，因此在使用 CCS 开发环境前，首先要对 CCS 进行配置，使其与设计中所选用的 TMS320F2812 这款 DSP 融合。具体的配置流程<sup>[30]</sup>：

1.运行 CCS Setup 应用程序，将会出现系统配置窗口，如图 4-2 所示。

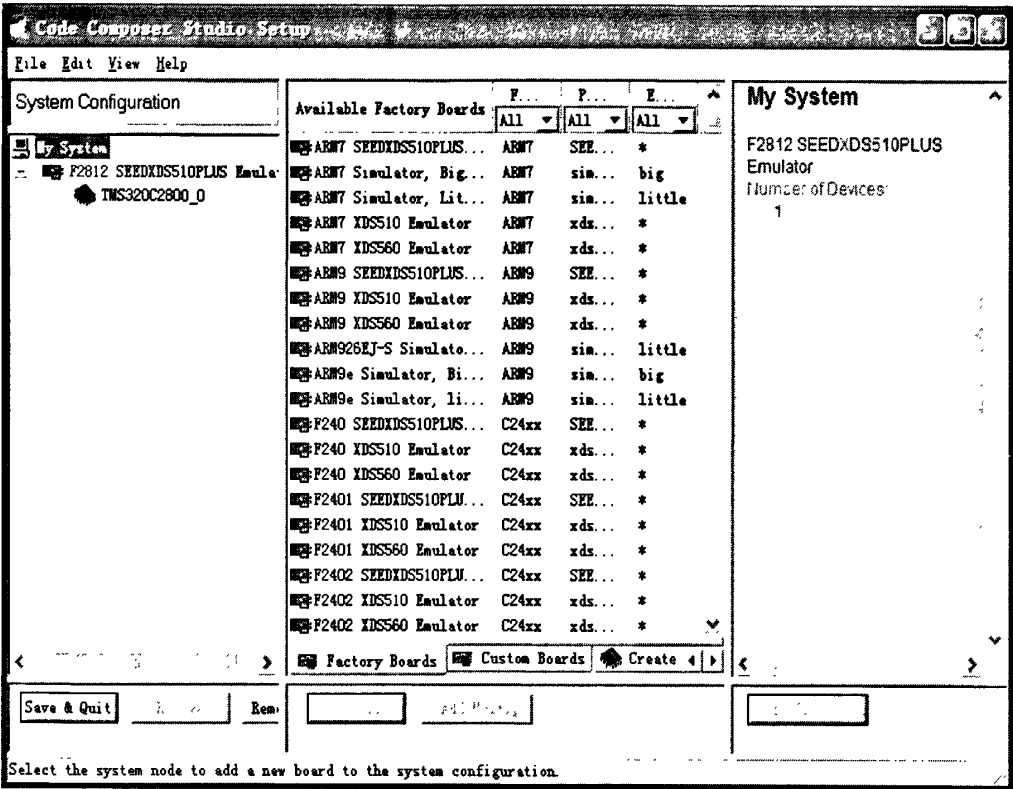


图 4-2 CCS 配置窗口  
Fig 4-2 Window of CCS configuration

2.在进行配置前，应该通过 File->Remove all 清楚以前的设置。

3.配合 CCS Setup 窗口中右上侧过滤栏中需要的处理器所属系列(Family)、处理器平台类型(Platform)、字节模式(Endian)等进行过滤，可以快速在 Available Factory Boards 中找到所需调试的目标板或仿真器。在确定相应配置后直接拖到左侧的 System Configuration 栏中，或者选中需要的目标配置文件后单击 Add 按钮。

4.在 System Configuration 栏中选择系统硬件，单击右键选择属性，可以对不同的选型做相应的调整。属性配置窗口如图 4-3 所示。

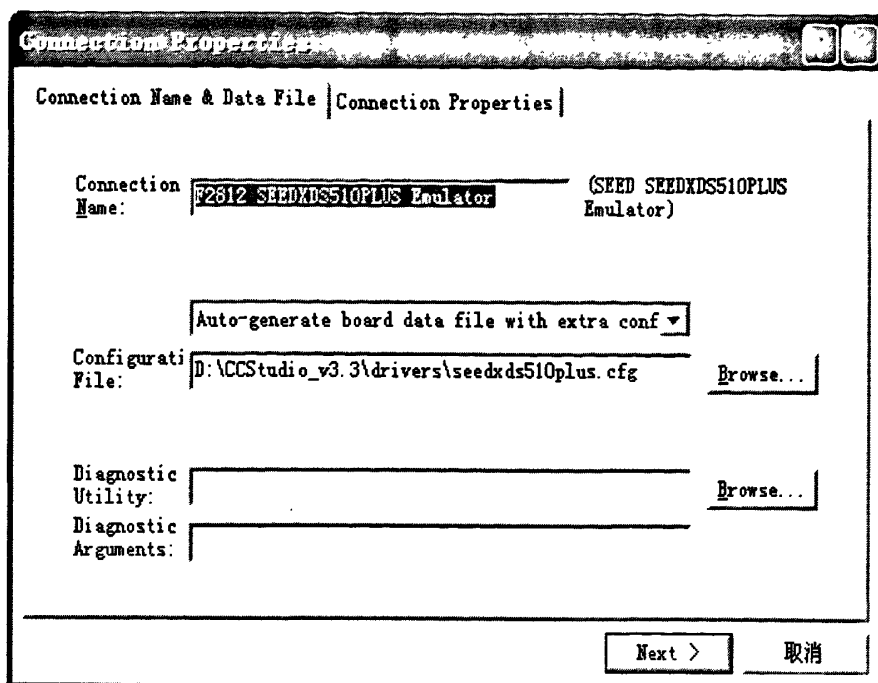


图 4-3 属性配置窗口

Fig 4-3 Window of property configuration

5.选中所需系统平台下的 CPU，右键单击并选择属性，编辑 CPU 的属性，包括启动的 GEL 文件、主/从设置、启动模式等，CPU 属性配置窗口如图 4-4 所示。

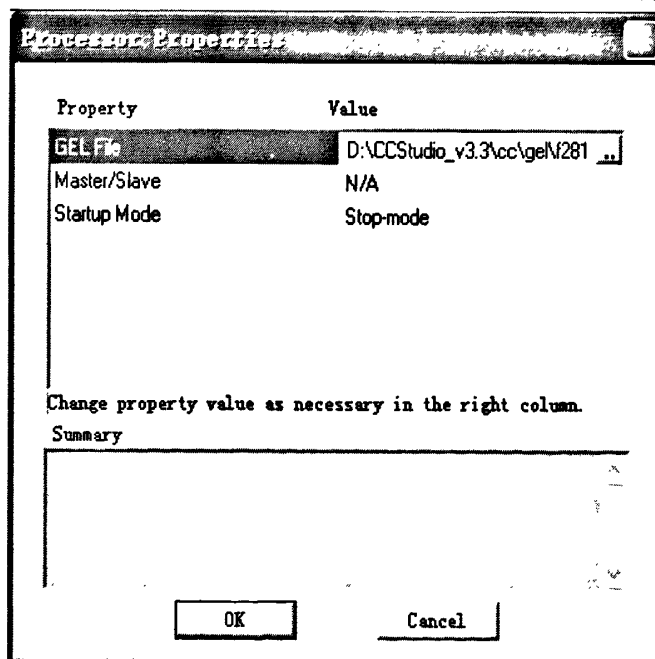


图 4-4 CPU 属性配置窗口

Fig 4-4 Window of CPU property configuration

6.单击 Save & Quit 按钮保存所选中的配置并且推出配置程序。在下次继续用相

同的硬件平台进行开发时不需要重新配置。

7. 在退出配置程序后弹出 CCS IDE 启动的判断界面, 点击 Yes 即可运行 CCS。如果配置的是硬件平台, 在运行 CCS IDE 之前, 应该检查硬件系统的连接状况和目标系统的耗电情况。

## 4.2 数据采集模块程序设计

### 4.2.1 振动信号采集模块程序设计

TMS320F2812 内部集成有高速的串行外围设备接口(SPI), DSP 处理器通过 SPI 接口与外设或者其他处理器进行通信。实现 SPI 接口进行通信的时候, 在多个 SPI 期间互联的系统中, 必须将一个设备设置成 Master 模式, 其他设置为 Slave 模式<sup>[30]</sup>。

对于振动信号的采集, 设计中选用 MAXIM 公司的一款 4 通道 12 位、低功耗的串行模拟数字转换器 ADC, 具有高频带宽度的采样保持特性, 单电源供电, 其供电电压范围是从+2.7V 到+5.25V。TMS320F2812 通过 SPI 接口操作 ADC 采集振动信号的操作流程:

#### 1. 配置 DSP 的 SPIA 接口

(1)向 SpiaRegs 中 SPICCR 寄存器写入 0X0047, 将 DSP 的 SPIA 接口配置为数据在下降沿输出且在上升沿输入, 当没有 SPI 信号发送的时候, SPICLK 处于高阻状态。通过将 CLOCK PHASE 配置为 1, 使得数据在 SPICLK 信号第一个下降沿的前半个周期和后来的 SPICLK 信号的上升沿输出, 输入信号锁存在 SPICLK 信号的下降沿。并且设置在一个移位排序期间作为单字符的移入或移出的位数为 8 位。

(2)向 SpiaRegs 中 SPICTL 寄存器写入 0X0006, 在复位初始化期间, SPI 自动配置为网络从动模式, 通过将 MASTER/SLAVE 配置为 1, 使得 SPI 配置为主动模式。

(3)向 SpiaRegs 中 SPIBRR 寄存器写入 82, 结合当 SPIBRR 在 3~127 之间时, SPI 波特率等于 LSPCLK/(SPIBRR+1), 将波特率设定为 300KHz。

(4)向 SpiaRegs 中 SPIPRI 寄存器中 FREE 位写入 1, 决定了仿真挂起时 SPI 的操作。无论外设正处于什么状态(自由运行模式), 都能继续运行, 如果处于停滞模式, 也能立即停止或在完成当前的操作(当前的接受/发送序列)时停止。

(5)向 SpiaRegs 中 SPICCR 寄存器中 SPISWRESET 位写入 1, 使得 SPI 准备发送或接受下一个字符, 当 SPISWRESET 位是 0 时, 写入发送器的字符在该位被设置时不会被移出, 新的字符必须写入串行数据寄存器中。

#### 2. 判断 SPI 接口是否空闲

通过读出 SpiaRegs 中 SPISTS 寄存器中 BUFFULL\_FLAG 的状态, 并且判断其是否空闲, 如果 BUFFULL\_FLAG 等于 1, 表明 SPI 接口空闲, 可以接受或者发送数据,

通过变量返回数值 0，用于给其他调用这个模块的程序进行判断 SPI 接口的状态；如果 BUFFULL\_FLAG 等于 0，表明 SPI 接口忙碌，不能进行数据的接受或者发送，通过变量返回数值 1。判断 SPI 接口空闲模块代码如下：

```

Uint16 Spi_TxReady(void)
{
    Uint16 i;
    if(SpiaRegs.SPISTS.bit.BUFFULL_FLAG == 1)
    {
        i = 0;
    }
    else
    {
        i = 1;
    }
    return(i);
}

```

### 3.SPI 读写数据

(1)TMS320F2812 在主动模式下，将为数据写入到 SPIDAT 中用于启动接收器的排序。因为硬件不支持少于 16 位的数据进行对齐处理，所以要发送的数据必须先进行左对齐，而接受到的数据则要用右对齐方式读出。

(2)通过调用 Spi\_TxReady 函数，判断 SPI 是否空闲，如果 Spi\_TxReady 函数返回值不等于 1，将要发送的数据写入 SpiaRegs.SPITXBUF 寄存器中。

(3)通过 SpiaRegs 中 SPISTS 寄存器中 INT\_FLAG 位判断发送是否完成，如果 INT\_FLAG 为 0，将 SpiaRegs.SPIRXBUF 中的数据读出，并且经过右对齐处理后，通过返回值，返回给调用 SPI 写数据模块的程序。SPI 读写数据程序如下：

```

Uint16 SpiWriteData(Uint16 W_BYTE)
{
    Uint16 data;
    W_BYTE = (W_BYTE<<8)& 0xFF00;//发送数据小于 16 位时必须左对齐
    while(Spi_TxReady() != 1){}
    SpiaRegs.SPITXBUF = W_BYTE;
    asm(" nop");
    while(SpiaRegs.SPISTS.bit.INT_FLAG == 0){} //判断发送是否完成
    asm(" nop");
    data = SpiaRegs.SPIRXBUF;
}

```

```

asm(" nop");
return (data & 0x00FF);
}

```

#### 4.通过选择不同信道采集不同的振动信号，并且返回采集到的原始 AD 值

根据振动信号采集电路的设计，通道 CH0 采集加速度信号，通道 CH1 采集速度信号，通道 CH2 采集位移信号，通道 CH3 采集包络信号。将选择好的通道配置信息写入振动信号采集 ADC 中，然后调用 SpiWriteData 函数并将 0X0000 写入 ADC 中，通过函数的返回值获得采集到的原始 AD 值。这部分程序代码如下所示：

```

Uint16 CtrlAIData_Step( Uint16 chnum )
{
    Uint16 aint = 0x0000;
    Uint16 j = 0;
    // InitSpi();
    AD_CS = 1;
    asm(" nop");
    j = 1;
    if(chnum == 0)
        j = 1;
    else if(chnum == 1)
        j = 5;
    else if(chnum == 2)
        j = 2;
    else if(chnum == 3)
        j = 6;
    //选择 SGL, UNI, 外部时钟模式
    asm(" nop");
    AD_CS = 0;
    asm(" nop");
    SpiWriteData(BIT7 + (j<<4) + BIT3 + BIT2 + BIT1 + BIT0);
    asm(" nop");
    aint = SpiWriteData(0x0000);
    asm(" nop");
    aint = (aint << 8) + SpiWriteData(0x0000);//数据第一位与后三位为 0
    asm(" nop");
    AD_CS = 1;
}

```

```

    aint >>= 3; //移出后三位的 0
    if(aint > 0)
        aint--;
    return(aint&0xFF);
}

```

### 5. 实际电压值转化

基于采集振动信号的 ADC 是 12 位的，并且根据  $1\text{LSB} = V_{\text{ref}}/4096$ ，可以将 ADC 采集到的数字信号转换为实际模拟电压值，并且通过函数返回值返回给调用该模块的程序。ADC 采集数值转化实际电压值的程序如下：

```

float32 CtrlAIData( Uint16 chnum )
{
    float32 result = 0;
    float32 LSB = 5.1 / 4096;
    asm(" nop");
    result = LSB * CtrlAIData_Step(chnum);
    asm(" nop");
    return result;
}

```

## 4.2.2 温度信号采集模块程序设计

对于温度信号的采集，设计中选用 ANALOG DEVICES 公司的一款双通道、12 位的串行模拟数字转换器，最大采样率为 125kSPS，单电源供电，供电电压范围是从 2.7V 到 5.25V，该芯片支持单端或者双端输入信号。TMS320F2812 通过 SPI 接口操作 ADC 采集振动信号的操作流程：

### 2. 配置 DSP 的 SPIA 接口

(1)向 SpiaRegs 中 SPICCR 寄存器写入 0X000F，将 DSP 的 SPIA 接口配置为数据在上升沿输出且在下降沿输入，当无 SPI 信号发送的时候，SPI 处于低电平。通过将 CLOCK PHASE 配置为 0，数据在 SPICLK 信号的上升沿输出，输入数据锁存在 SPICLK 信号的下降沿。并且设置在一个移位排序期间以 16 位作为单字符移入或移出。

(2)向 SpiaRegs 中 SPICTL 寄存器写入 0X000E，在复位初始化期间，SPI 自动配置为网络从动模式，通过将 MASTER/SLAVE 配置为 1，使得 SPI 配置为主动模式。通过将 CLOCK PHASE 配置为 1，控制 SPI 信号的相位，使 SPICLK 信号延迟半个周期。

(3)向 SpiaRegs 中 SPIBRR 寄存器写入 49，结合当 SPIBRR 在 3~127 之间时，SPI

波特率等于  $LSPCLK/(SPIBRR+1)$ ，将波特率设定为 512KHz。

(4)向 SpiaRegs 中 SPIPRI 寄存器中 FREE 位写入 1，决定了仿真挂起时 SPI 的操作。无论外设正处于什么状态(自由运行模式)，都能继续运行，如果处于停滞模式，也能立即停止或在完成当前的操作(当前的接受/发送序列)时停止。

(5)向 SpiaRegs 中 SPICCR 寄存器中 SPISWRESET 位写入 1，使得 SPI 准备发送或接受下一个字符，当 SPISWRESET 位是 0 时，写入发送器的字符在该位被设置时将不会被移出，新的字符必须写入串行数据寄存器中。

## 2.判断 SPI 接口是否空闲

通过读出 SpiaRegs 中 SPISTS 寄存器中 BUFFULL\_FLAG 的状态，并且判断其是否空闲，如果 BUFFULL\_FLAG 等于 1，表明 SPI 接口空闲，可以接受或者发送数据，通过变量返回数值 0，用于给其他调用这个模块的程序进行判断 SPI 接口的状态；如果 BUFFULL\_FLAG 等于 0，表明 SPI 接口忙碌，不能进行数据的接受或者发送，通过变量返回数值 1。判断 SPI 接口空闲模块代码如下：

```

Uint16 Spi_TxReady(void)
{
    Uint16 i;
    if(SpiaRegs.SPISTS.bit.BUFFULL_FLAG == 1)
    {
        i = 0;
    }
    else
    {
        i = 1;
    }
    return(i);
}

```

## 3.SPI 读写数据

(1)TMS320F2812 在主动模式下，将为数据写入到 SPIDAT 中用于启动接收器的排序。因为硬件不支持少于 16 位的数据进行对齐处理，所以要发送的数据必须先进行左对齐，而接受到的数据则要用右对齐方式读出。

(2)通过调用 Spi\_TxReady 函数，判断 SPI 是否空闲，如果 Spi\_TxReady 函数返回值不等于 1，将要发送的数据写入 SpiaRegs.SPITXBUF 寄存器中。

(3)通过 SpiaRegs 中 SPISTS 寄存器中 INT\_FLAG 位判断发送是否完成，如果 INT\_FLAG 为 0，将 SpiaRegs.SPIRXBUF 中的数据读出，并且经过右对齐处理后，通过返回值，返回给调用 SPI 写数据模块的程序。SPI 读写数据程序如下：

```

Uint16 SpiWriteData(Uint16 W_BYTE)
{
    Uint16 data;
    W_BYTE = (W_BYTE<<8)& 0xFF00;//发送数据小于 16 位时必须左对齐
    while(Spi_TxReady() != 1){}
    SpiaRegs.SPITXBUF = W_BYTE;
    asm(" nop");
    while(SpiaRegs.SPISTS.bit.INT_FLAG == 0){} //判断发送是否完成
    asm(" nop");
    data = SpiaRegs.SPIRXBUF;
    asm(" nop");
    return data;
}

```

4.通过选择不同信道采集不同的振动信号，并且返回采集到的原始 AD 值

根据温度信号采集电路的设计，通道 CH0 采集测点温度信号，通道 CH1 采集环境温度信号。将选择好的通道配置信息通过 SpiWriteData 函数写入温度信号采集 ADC 中，通过函数的返回值获得采集到的原始 AD 值。这部分程序代码如下所示：

```

Uint16 CtrlAITemp_Step( Uint16 chnum )
{
    Uint16 aint = 0x0000;
    AD_CS = 1;
    asm(" nop");
    //选择双通道模式，PM
    asm(" nop");
    AD_CS = 0;
    asm(" nop");
    aint = SpiWriteData(BIT5 + BIT4 + (chnum << 3) + BIT0);
    asm(" nop");
    AD_CS = 1;
    return (aint&0xFFF);
}

```

#### 5.实际电压值转化

基于采集温度信号的 ADC 是 12 位的，并且根据  $1\text{LSB} = V_{\text{ref}}/4096$ ，可以将 ADC 采集到的数字信号转换为实际模拟电压值，并且通过函数返回值返回给调用该模块的程序。ADC 采集数值转化实际电压值的程序如下：

```
float32 CtrlAIData( Uint16 chnum )
{
    float32 result = 0;
    float32 LSB = 5.1 / 4096;
    asm(" nop");
    result = LSB * CtrlAIData_Step(chnum);
    asm(" nop");
    return result;
}
```

### 4.3 液晶显示模块程序设计

设计中采用 2.0 寸 176\*220 点阵式 TFT 彩色液晶屏，这款液晶屏被大量应用于手机制造领域，具有亮度高、分辨率适中、色彩饱和度好等特点，十分适合便携式设备巡检仪显示分析数据的时序波形和频谱，为营造良好的人机交互环境提供了有力的支持。对液晶的操作方法：

#### 1.对液晶的显示方式的配置

通过对液晶控制芯片 HX8309 写入寄存器设定值，使用总线访问的方式。

#### 2.设置电源方式

#### 3.设置显示方式

#### 4.对液晶做写入位置的设定

Input X 表示 X 坐标，Input Y 表示 Y 坐标，调用函数 void HX8309\_CurSet(Uint16 X, Uint16 Y)来设定对液晶写入的位置。

#### 5.对液晶做整屏写入操作

Input Dat16bit 表示要填入颜色，通过调用 void Full\_SCR(int16 Dat16bit)实现对整屏写入操作。

#### 6.对液晶做单点写入操作

Input X 表示 X 坐标，Input Y 表示 Y 坐标，Input color 表示填入的颜色，通过调用 void HX8309\_PutPixel(Uint16 X, Uint16 Y, Uint16 color)来实现对液晶单点写入操作。

#### 7.对液晶做划线写入的操作

Input beg\_x 表示起始点 X 坐标，Input beg\_y 表示起始点 Y 坐标，Input color 表示填入的颜色，Input end\_x 表示终止点 X 坐标，Input end\_y 表示终止点 Y 坐标，通过调用函数 void HX8309\_Line(Uint16 beg\_x, Uint16 beg\_y, Uint16 color, Uint16 end\_x,

调用函数 `void HX8309_Line(Uint16 beg_x, Uint16 beg_y, Uint16 color, Uint16 end_x, Uint16 end_y)` 来实现对液晶做划线写入操作。

#### 4.4 实时时钟模块程序设计

I2C(Inter Integrated Circuit)总线是一种由 PHILIPS 公司开发的两线式串行总线，用于连接微控制器以及外围设备。设计中选用 DALLAS 公司的一款实时时钟芯片，内部集成有实时时钟，具有 RAM 存储空间，其大小为 31 字节，通过 I2C 接口与 DSP 进行通信。实时时钟电路能够提供年、月、日期、日、时、分、秒的相关信息，自行调整每月的天数和闰年的天数，设定采用 12 小时或者 24 小时的时间格式。这款芯片的主要性能指标：

(1)具有能够计算 2100 年之前的年、月、日、星期、日期、时、分、秒的能力，并且具有闰年调整能力；

(2)内部集成 31\*8 为静态 RAM，存储数据；

(3)宽范围工作电压：2.0V~5.5V；

(4)工作电流：工作电压在 2.0V 时，电流小于 300nA；

(5)有单字节传送和多字节传送两种方式读/写时钟或者 RAM 中存储的数据；

(6)与 TTL 兼容， $V_{cc}=5V$ 。



## 第五章 结论与展望

### 5.1 结论

近年来设备状态检测和故障诊断技术迅猛发展,有效地保证了设备运行的可靠性,并在设备预知维修中发挥越来越重要的作用。针对石化企业对设备状态检测和故障诊断技术的需求,本文设计了一种以 TMS320F2812 为 MCU 的便携式设备巡检系统,完成对传感器信号的调理、采样、数据处理、时域波形和频谱的显示、红外测温、与外部接口的通信等。

当前用于对生产设备进行状态检测的方式主要有两种,即在线监测和离线监测。在线监测系统主要用于对大型关键设备和机组,如高功率、高参数的旋转机械,这类机械不仅价格昂贵,而且从设计、制造、安装到维护运行的技术要求高,一旦出了故障,影响很大。该系统构成复杂,费用昂贵,专用性强。而离线检测系统具安装方便、维护成本较低、投资少等优势,更适用于流程工业中的中小型非关键设备的故障诊断应用。本论文的研究内容正是与上文所述的故障诊断领域密切相关,主要应用于离线检测系统。基于 DSP 的便携式设备巡检仪很好地将故障诊断技术、微电子技术和嵌入式技术结合起来,有效地对机泵群进行状态监测,给出机械的故障分析。这套系统可以应用在不同的层次,从小型的工艺设备到整个工厂、公司的所有设备监测。此外,该系统的应用能够较大幅度提高巡检人员的劳动效率,降低了培训设备巡检人员的要求,同时减轻了设备管理人员在现场进行巡检的工作负担,节省了设备维护和修理的费用,并且保证了设备运行的可靠性和稳定性,符合新的智能设备运行管理模式思想。同时把大量对设备运行信号处理工作和多年设备运行管理经验的整理与积累工作交给系统核心去完成,实现设备运行信息化和计算机管理,从最大限度上避免人为失误所造成的事故和不必要的经济损失,保障监测工作的数字化、标准化、程序化、规范化、制度化,从而为预知维修提供科学依据。本论文的主要成果如下:

#### 1. 便携式设备巡检系统总体方案设计

TMS320F2812 是一款具有高运算速度、低功耗、集成度高、体积小等优点的 DSP。本课题基于系统性能、功耗、体积、成本等方面的综合考虑,设计了以 TMS320F2812 这款 DSP 为核心的便携式设备巡检系统,完成传感器信号的调理、采样、数据处理、时域波形和频谱的现实、红外测温、与外部接口通信等功能。

#### 2. 便携式设备巡检系统硬件设计

系统硬件由电源模块、信号调理模块、数据采集模块、微处理器模块和液晶显示模块组成,其中微处理器模块包含 DSP 处理器电路、实时时钟电路、复位电路、液晶接口电路、键盘电路、串口转 USB 电路、SRAM 存储扩展电路和 Flash 存储扩展电路。

#### 3. 便携式设备巡检系统相关软件设计

编写和调试了振动信号采集模块、温度信号采集模块、实时时钟模块、Flash 存储模块、液晶显示模块的程序。并且在文中给出了相关软件的结构和设计思路。

#### 4. 便携式设备巡检系统调试及相关测试

由硬件调试和软件测试两部分组成。主要包括电源供电电路调试、信号调理电路调试、时钟电路调试、DSP 工作性能测试、信号调理、数据采集精度测试，以及对系统上层应用程序的测试。

## 5.2 展望

本论文研究了便携式设备巡检仪的系统结构，对硬件、软件分别进行了设计，涉及故障诊断技术、计算机技术以及微电子技术等多个领域。虽然之前做了充足的准备工作，但由于本人水平有限，该系统的设计仍存在着一定的局限与不足之处，如信号调理电路精度等方面并不十分理想。为实现更好的工作性能与系统稳定性应从以下几方面进行改进：

1. 在模拟数据采集部分，模拟信号容易引入噪声。考虑可能是由于信号调理电路中功能过于复杂，模拟电源与地之间处理和隔离不当造成的。

2. 进一步尝试通过合理设计软件系统的结构和各个功能模块程序的结构，使得 DSP 以及便携式设备巡检仪的功耗达到最低。

此外，本人在系统软件部分仅编写了各个模块相关的驱动程序，上层应用软件仍需进一步开发。针对系统中存在的一些不足还需要在后续工作中反复改进，使系统不断完善。

## 参考文献

- [1] 黄志坚, 高立新, 廖一凡. 机械设备振动故障监测与诊断[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.6
- [2] 曹梅. 浅谈旋转机械的故障诊断[J]. 设备管理与维修, 2006, (1): 39-41
- [3] 钟秉林, 黄仁. 机械故障诊断学(第三版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.2
- [4] 李国华, 张永忠. 机械故障诊断[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.2
- [5] 马波, 高金吉, 江志农等. 旋转机械故障诊断专家系统机电工程技术[J]. 2005, 34(12): 30-32
- [6] 屈梁生, 张西宁, 沈玉娣等. 机械故障诊断理论与方法[M]. 2009, 12
- [7] 邓学欣, 王太勇, 陈珊等. 基于DSP的便携式机械故障智能诊断系统[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2004, (2): 80-82,84
- [8] 黄昭毅. 从第12届全国设备状态监测与故障诊断学术会议看诊断技术新进展[J]. 中国设备工程, 2006, (4): 44-45
- [9] 陈尚俭, 李培玉, 刘果. 面向旋转机械的嵌入式故障诊断系统[J]. 江南大学学报(自然科学版), 2006, 5(1): 14-17
- [10] 邓学欣, 王太勇, 薛国光等. 便携式机械设备故障诊断仪的研制与开发[J]. 精密制造与自动化, 2003, (z1): 103-104,107
- [11] 侯海云. 大型回转机械故障诊断的现状和发展趋势[J]. 建设机械技术与管理, 2006, 19(4): 98-101
- [12] 丁克北. 离心压缩机故障诊断研究现状及发展趋势[J]. 炼油与化工, 2005, 16(2): 30-33
- [13] 吴明强, 史慧, 朱晓华等. 故障诊断专家系统研究的现状与展望[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(12): 1301-1304
- [14] 邓化科. 便携式智能巡检系统的开发[D]. 北京: 北京化工大学, 2007
- [15] 侯国屏, 王坤. Labview7.1编程与虚拟仪器设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.178-181
- [16] 远坂俊昭. 测量电子电路设计-滤波器篇[M]. 北京: 科学出版社, 2006
- [17] Sergio Franco. 基于运算放大器和模拟集成电路的电路设计[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2004.8
- [18] 刘振岳. 基于PC/104+总线的多通道数据采集系统的设计[D]. 北京: 北京化工大学, 2008
- [19] 王晓红, 蒋洪明. 高精度数据采集系统中模拟滤波器的重要性[J]. 电子测量与仪器学报, 1994, 8(4): 17-21
- [20] 彭永胜, 王太勇, 范胜波等. 高品质抗混叠滤波器设计[J]. 西南交通大学学报, 2003, 38(5): 596-601
- [21] Linear Technology Corporation. LTC1066-1 14-DAC accurate Clock-Tunable 8th order elliptic or linear phase filter [EB/OL]. [www.linear.com](http://www.linear.com)
- [22] Maxim Inc. MAX1246/MAX1247 +2.7V Low-Power 4-Channel Serial 12-Bit ADCs[EB/OL]. [www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com)
- [23] Analog Devices, Inc. AD7887 2.7Vto5.25V Micropower 125ksps 2-Channel 12-Bit ADC [EB/OL]. [www.analog.com](http://www.analog.com)
- [24] TEXAS INSTRUMENTS. TMS320F2810, TMS320F2812 Digital Signal Processors Data Manual [EB/OL]. [www.ti.com](http://www.ti.com)
- [25] 薛园园. USB应用开发技术大全[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007
- [26] TEXAS INSTRUMENTS. TPS3808 Low Quiescent Current Programmable-Delay Supervisory Circuit [EB/OL]. [www.ti.com](http://www.ti.com)

- [27] Linear Technology Corporation. LTC4412 Low Loss PowerPath Controller in ThinSOT [EB/OL]. [www.linear.com](http://www.linear.com)
- [28] Linear Technology Corporation. LTC4054 Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in ThinSOT [EB/OL]. [www.linear.com](http://www.linear.com)
- [29] 张海风. HyperLynx仿真与PCB设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006
- [30] 苏奎峰, 吕强, 常天庆等. TMS320X281x DSP原理及C程序开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008

## 致 谢

本文是在我的导师高金吉院士及江志农老师的指导下完成的，论文的顺利完成凝聚着高老师、江老师的悉心指导与谆谆教诲。时值论文完成之际，在此向高老师、江老师表示深深的感谢和崇高的敬意！

在三年学习时间里，高老师不但为我提供了良好的学习环境和实践机会，而且对我悉心教导，严格要求，我从中受益非浅。高老师渊博的学识、严谨的治学态度、一丝不苟的工作作风，使我深受教育、启发，您将是我一生学习的榜样。在此向高老师致以衷心的感谢。

非常感谢江志农老师在我研究生阶段给我极大的支持和帮助，感谢江老师对我孜孜不倦的教会和无微不至的关怀。江老师认真负责的态度、脚踏实地的作风和追求创新的意识给了我极大的启发和指导，这必将成为我人生道路上最宝贵的财富。再次感谢江老师对我的支持与帮助。

感谢 RTD 实验室和 DSE 中心的各位老师和同学，感谢你们在我课题研究和论文完成过程中给予的无私帮助和提出的宝贵意见，非常感谢你们！

对在攻读硕士论文期间所有给予我关心、帮助、支持的老师、同学以及朋友们表示衷心的感谢。

最后，我要特别感谢父母对我在生活上无微不至的关怀，以及精神上给予我的支持，才使我能够顺利完成学业。



## 研究成果及发表的学术论文

### 发表及已接受的论文

1. 杨宁, 江志农. TMS320F2812 外部 USB 接口扩展与差分信号仿真[J]. 微型机与应用, 已录用.



## 作者简介

**作者：**杨宁，男，1985年生，天津人，计算机应用技术专业硕士研究生，主要研究方向为嵌入式系统和便携式设备巡检仪。本科毕业于北京化工大学电子信息工程专业。

**导师一：**高金吉教授，男，1942年生，辽宁本溪人，博士生导师，中国工程院院士。1966年毕业于北京化工学院，1993年获清华大学工程力学博士学位。1988年被评为国家级有突出贡献的中青年科技专家，1992年获国务院政府特贴，1999年当选为中国工程院院士(机械与运载工程学部)。高金吉院士原任中国石油辽阳石油化纤公司副总工程师，教授级高级工程师，2001年到北京化工大学，任北京化工大学学术委员会副主任、机电工程学院院长、名誉院长。主要研究方向为设备诊断与故障自愈工程。

**导师二：**江志农，男，1967年生，山东人，研究员，博士生导师，北京化工大学诊断与自愈工程研究中心副主任。主要研究方向为远程实时监控、诊断系统，仪表智能化技术和设备故障诊断工程。



# 北京化工大学

## 硕士研究生学位论文答辩委员会决议书

研究生姓名： 杨宁 专业： 计算机应用技术

论文题目： 基于 DSP 的便携式设备巡检仪的研发

指导教师姓名： 高金吉 江志农 职称： 教授

论文答辩日期： 2011 年 5 月 26 日 地点： 科技大厦 415 室

### 论文答辩委员会成员

| 姓名  | 职称  | 工作单位       | 本人签名 |
|-----|-----|------------|------|
| 何苏勤 | 教授  | 北京化工大学信息学院 | 何苏勤  |
| 易军凯 | 教授  | 北京化工大学信息学院 | 易军凯  |
| 李学斌 | 副教授 | 北京化工大学信息学院 | 李学斌  |
| 谢晓明 | 副教授 | 北京化工大学信息学院 | 谢晓明  |
| 高静阳 | 副教授 | 北京化工大学信息学院 | 高静阳  |
|     |     |            |      |
|     |     |            |      |
|     |     |            |      |

注：此表用于存档，除本人签名务必用钢笔填写外，其余处必须用计算机打印。



答辩委员会对论文的评语（选题意义、文献综述、论文所取得的成果及水平、学风和论文写作水平、论文的不足之处）：

论文来源于国家“863”课题，主要研究基于 DSP 系统的便携式设备巡检仪的硬件系统，具有一定的理论研究意义和工程应用价值。

论文全面地分析研究了有关嵌入式系统与便携式巡检设备的文献资料。选用了专业的嵌入式系统开发平台 CCS，结合 C 语言和汇编语言对便携式设备巡检仪的硬件和软件系统进行开发和调试，选取大型电路设计工具 Altium Designer 对巡检仪的硬件平台进行设计。论文对高速信号的完整性进行了分析，对 SRAM 的数据串扰信号和 USB 差分数据信号进行优化和改进，设计结果基本达到课题要求。

论文撰写层次分明，条理清晰，论述严谨，方法合理。论文工作表明：作者已具有本学科较扎实的基础知识和较强的独立分析问题、解决问题的能力，达到了硕士学位论文水平。

作者答辩过程中表述清楚，回答问题正确。

论文不足之处是缺少系统调试结果和性能分析，信号调理电路精度还需要进一步提高。

全体答辩委员一致同意通过论文答辩，建议授予其工学硕士学位。

|              |    |    |    |    |
|--------------|----|----|----|----|
| 对学位论文水平的总体评价 | 优秀 | 良好 | 一般 | 较差 |
|              |    | ✓  |    |    |

答辩委员会表决结果：

同意授予硕士学位 5 票，不同意授予硕士学位 0 票，弃权 0 票。根据投票结果，答辩委员会做出建议授予该同学硕士学位的决议。

答辩委员会主席签字：

何东勤

2011 年 5 月 26 日

