

毕业设计（论文）任务书

设计题目：

起重机超重保护仪设计（硬件）

毕业设计（论文）要求及原始数据（资料）：

起重机超重保护仪是监测起重机在起吊中是否超载，发现超载时及时发出报警信号或停止起重，防止事故发生的一种安全保护装置。

本次设计的起重机超重保护仪采用应变式称重传感器，它的输出信号为 0-10mV，输出电阻为 350 欧姆。本保护仪有一个四位的 LED 数字显示器，用来显示起重机当前的起吊重量。本保护仪应能设定报警限值和保护限值，因此要有若干个按键。本保护仪应能发出声光报警信号，并能控制起重机的起重回路，因此要有两个继电器输出控制信号。

本设计采用与 51 系列兼容的单片机。

硬件采用 Protel 99 或 DXP 软件进行电路设计。

本课题分为硬件设计和软件设计两的子题目，由两名同学分别做设计。本设计为硬件部分。

指导教师可提供条件和经费和设备，进行购买元器件、加工电路板和组装、调试和测试测试实验等。

设计条件和设计要求：

- 1、 称重传感器输出灵敏度：2mV/V
- 2、 要求采用单片机内部的 A/D 转换，转换速度不小于 1000 次/秒
- 3、 供电电压：220V 交流
- 4、 称重传感器桥路电阻：350Ω
- 5、 准确度：优于 2%

(论文) 主要工作内容:

- 1、 方案设计
- 2、 元器件选型
- 3、 电路设计
- 4、 印刷电路板设计
- 5、 编写产品说明书。
- 6、 编写设计说明书等设计文件。

学生应交出的设计文件（论文）设计说明书，包括：

- 1、 设计说明；
- 2、 使用说明书
- 3、 电原理图；
- 4、 PCB 图
- 5、 元件清单；
- 6、 重要元件的参数选择计算书；
- 7、 光盘文件。
- 8、 外文资料译文一篇。

主要参考文献（资料）：

- 1、 宁波柯力传感器制造有限公司《传感器说明书》；
- 2、 元器件手册；
- 3、 电路图、印刷电路计算机辅助设计软件手册；
- 4、 相关教材。

专 业 班 级	自动化 2006 级 1 班	学 生	_____
要求设计(论文)工作起止日期	2010 年 3 月 1 日—2010 年 6 月 18 日		
指 导 教 师 签 字	_____	日期	_____
教 研 室 主 任 审 查 签 字	_____	日期	_____
系 主 任 批 准 签 字	_____	日期	_____

起重机超载限制器设计

摘 要

起重机超载限制器 (Crane Overload Limiter) 是一种重要的起重机超载保护装置。它主要装备在汽车吊, 轮胎吊和履带吊等大型起重机上。通过系统内的传感器对起重机的关键工作参数进行实时检测, 经过分析计算和数据处理得到结果并结合起重机的当前工况进行判断: 当实际载荷接近起重机的非安全工作范围时, 系统预报警。超过非安全工作范围时, 系统报警并自动进行安全保护控制, 禁止起重机向危险方向动作。

本文设计了一种单片机嵌入式起重机超载限制器, 电源, 传感器信号采集端, 模拟信号放大电路, AD 转换电路, 天线部分, 光电报警电路, 232 接口电路, 按键设计和 LCD 显示部等部分构成。仪器主要功能有显示重量, 显示上限等。报警包括超限报警和保护报警, 报警方式设置了光电报警, 同时, 该限制器具有短距离无线通讯的能力, 使之应用更加广泛, 使用更加方便。目前国际化的趋势是保护仪想小型化, 模块化, 集成化, 智能化发展, 其技术性能趋向速率高准确度高, 稳定性高, 可靠性高等。

关键字: 单片机 CC2430, 单片机嵌入式起重机超载限制器, LCD 显示器

Hoist crane overload protection meter hardware design

Abstract

Crane Overload Limiter (Crane Overload Limiter) is an important crane overload protection device. Its main equipment in the vehicle suspension, tires and other large crane and crawler crane. Through the system of sensors on the crane's key operating parameters in real-time detection, after analyzing the results of calculation and data processing are combined with a crane to judge the current conditions: load close to the crane when the actual scope of work of non-security, the system pre-alarm. Scope of work more than non-security, the system security alarm and automatically control the direction of the dangerous action against Crane.

This paper presents a single chip embedded crane overload limiter, power, sensor signal acquisition end, analog signal conditioning circuit, AD converter circuit, antenna, photoelectric alarm circuit, 232 Interface, buttons and LCD display unit, etc. to design parts. Instrument showing the weight of the main features, showing ceiling. Including over-limit alarm and protection alarm alarm Alarm setting the photoelectric alarm, same time, the limiter has a short-range wireless communications capability, so that the application of more extensive and easier to use. The current international trend is to protect the instrument to small, modular, integrated, intelligent development, its technical performance tend to rate high accuracy, high stability and high reliability.

Keywords: SCM CC2430, crane overload limiter embedded MCU, LCD display

目录

摘 要.....	I
ABSTRACT	II
第一章 绪论.....	1
1.1 设计背景及意义	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 起重机超重保护仪发展现状.....	2
1.2 设计的主要内容和基本思路.....	4
第二章 起重机超重保护仪设计系统分析.....	5
2.1 工作原理	5
2.1.1 信号采集端.....	5
2.1.2 信号接收端.....	5
2.2.3 称重值.....	6
2.2 性能特点.....	6
2.3 按键设置.....	6
2.3.1 复位键.....	6
2.3.2 设置键.....	6
2.3.3 选择键.....	7
2.3.4 调整键.....	7
2.4 指示灯设置.....	7
2.5 警铃设置.....	7
2.6 操作说明.....	8
2.6.1 复位.....	8
2.6.2 称量.....	8
2.6.3 调零.....	8
2.6.4 标定.....	8
2.6.4 报警上限设置.....	8
2.6.6 保护上限设置.....	8
第三章 系统的芯片选择.....	9
3.1 传感器.....	9
3.1.1 简介.....	9
3.1.2 分类.....	9
3.1.3 系统的称重传感器.....	11
3.2 放大器.....	12
3.2.1 简介.....	12
3.2.2 集成运算放大器的分类.....	13
3.2.3 系统的信号放大电路.....	13
3.3 串口.....	14
3.3.1 简介.....	14
3.3.2 系统的串口.....	14
3.4 显示器.....	16
3.4.1 简介.....	16
3.4.2 显示器的分类.....	16
3.4.3 系统的显示器.....	16
3.5 系统的单片机.....	17
3.5.1 CC2430 引脚.....	18
3.5.2 CC2430 的特殊寄存器.....	20
第四章 起重机超重保护仪硬件设计.....	20
4.1 电源部分.....	20
4.2 传感器信号采集端.....	21
4.3 模拟信号放大电路.....	23

4.4 天线部分	24
4.5 光电报警电路	25
4.6 232 接口电路	25
4.7 LCD 电路	27
4.8 E ² ROM 存储器电路	28
第五章 实验电路板设计	30
5.1 PROTEL99SE 软件简介	30
5.2 制作元件封装图	31
5.3 网络表的调用	33
5.4 电路板设计原则	33
5.4.1 电路板的选用	33
5.4.2 电路板布局原则	34
5.4.3 电路板布线原则	34
5.4.4 抗干扰设计原则	35
5.5 电路板布局	36
5.6 电路板布线	36
5.7 硬件调试	38
第六章 软件程序设计	39
6.1 设计思想	39
6.2 主程序流程图	39
6.3 数据处理模块及其流程框图	41
6.3.1 调零	41
6.3.2 标定	41
6.3.3 称量	42
6.4 键处理模块	43
6.4.1 键处理模块流程图	44
6.4.2 键处理程序	45
6.5 数据采集模块	50
6.5.1 信号采集简介	50
6.5.2 信号采集流程图	51
4.5.3 信号采集模块程序	51
6.6 数据处理	53
6.6.1 算法	53
6.6.2 流程图	53
6.6.3 数据处理模块程序	54
6.7 数据发送	54
6.7.1 信号发送简介:	54
总 结	55
致 谢	56
参考文献	57
附录一 部分英文参考资料及译文	58
附录二 系统原理图	67

第一章 绪论

1.1 设计背景及意义

1.1.1 设计背景

现阶段国家宏观经济政策为工程机械行业提供了良好的外部发展环境。“十五”期间的南水北调，西气东输，西电东送，青藏铁路四大工程每年都可拉动工程机械行业 1.5 个百分点的增长。起重机属于工程机械。据不完全统计，2003 年 12 月份，起重机整机销量达到 3415 台，同比增长 46%。权威机构统计，2005 年起重机的年需求量达到 8000-9000 台。然而，起重机也是一种蕴藏危险因素较多，事故发生几率较大的工程机械，国内外每年都发生大量因起重机作业造成的设备损坏甚至人身伤亡事故，任何起重机都有最大安全载荷限制，超过这个限度，轻则对设备部件造成损坏，重则发生整车倾覆的恶性事故。因此，必须控制起重机在安全限度内工作。在这种条件下，具有载荷，超载限制功能的起重机超载限制器应运而生。

起重机超载限制器 (Crane Overload Limiter) 是一种重要的起重机超载保护装置。它主要装备在汽车吊，轮胎吊和履带吊等大型起重机上。通过系统内的传感器对起重机的关键工作参数进行实时检测，经过分析计算和数据处理得到结果并结合起重机的当前工况进行判断：当实际载荷接近起重机的非安全工作范围时，系统预报警。超过非安全工作范围时，系统报警并自动进行安全保护控制，禁止起重机向危险方向动作。

伴随微电子技术，计算机技术，智能仪表技术及传感器技术的迅猛发展，现今起重机用户已不满足起重机仅仅拥有载荷，超载限制功能，他们希望获得更多关于起重机工作状态的准确信息，包括起升高度，风速，起升角度，工作幅度甚至钢丝绳状况，油温，震动等信息，基于上述原因，起重机超载限制器的功能不断得到延伸，信息集成度更高也更加人性化。

国外许多起重机制造商对起重机超载限制器和应用较早，目前已达到较高水平。我国在这方面的起步较晚，技术水平不高，应用范围不广。但随着社会经济的发展和安全管理意识的提高，国内起重机的制造商和用户对起重机超载限制器产生了很大需求。国家技术监督局专门制定并发布了《起重机安全规范》(GB6067-1985)，《起重机机械超载保护装置安全技术规范》(GB12602-1990)，《臂架型起重机起重力矩限制器通用技术条件》(GB7950-1999) 等国家标准。要求各类起重机机械装备载荷，超载限制，并对超载限制器的功能，性能检验等进行了严格规定。国家劳动和社会保障部也规定 16t 以上的起重机必须装备起重机超载限制器。国内现有的起重机机械除今年来进口的较先进的起重机，绝大多数都需要加装起重机超载限制器。一些已有超载限制器的起重机，由于过年限制使用以及系统损坏等问题，也需要改装起重机超载限制器。由此可见，国内市场需求巨大。然而国外的起重机超载限制器价格昂贵，而且与国产起重机的配套困难。国内的研究人员在超载限制器的国产化道路上进行着工作，也取得了一定的成果，但在产品的稳定性以及可靠性上还有待提高。可以这样说，国内起重机行

业正在迫切呼唤符合国情，性能先进，功能完善，工作可靠的新型起重机超载限制器产品，以满足内需。

1.1.2 起重机超重保护仪发展现状

起重机超载限制器主要是以起重力矩为监测的核心，早期的产品一般也仅仅具有力矩限制的功能，通常称为起重机超载限制器，而当前很多国内国际的产品具有更大容量的信息集成度，或称为起重机安全监测系统，或沿用旧称依然称为起重机超载限制器。

国内对起重机超载限制器的研发工作始于上世纪 80 年代，从事开发的主要是各大起重机厂的设计院和大专院校等，发展至今已经形成了一定的规模，也取得了一定的成果。目前，国内比较有影响的有以下产品：

三峡大学电子厂生产的超载限制器采用模块化设计，动态显示起重机工作幅度，吊臂角度，额定起重量，实际起重量，负荷百分比并能显示各种工况曲线表，具有人机对话界面，缺点是需要外接 220V 交流电，体积不够小巧，可靠性较差。

湖北宜昌市鸿阳自动化控制有限公司的 HY 系列起重机超载限制器。特点是安装调试上全部采用按键操作及液晶显示提示，不用调整任何电位器，但其面板设计粗糙。

深圳市测力佳控制技术有限公司 HDC 型超载限制器是自行研制的产品。特点是中文显示，便于操作和现场调试，具有用户参数密码保护及用户密码修改功能，防止误操作，具有三种报警声音，缺点是现场参数设置稍显复杂，显示的参数少，整机尺寸较大。

北京起重机器厂的 BQL 系列超载限制器，完全仿照日本石川岛建机株式会社的技术，能够显示臂杆长度，角度，工作半径，实重，限重，吊中等信息，并通过声，光报警，超负荷时自动停止危险动作。工作地区温度可达 80C。但技术上缺少创新，而且实践证明，质量不稳定，返修率较高。

根据用户的反映，国内的产品最重要是可靠性，在解决可靠性前提下还需提高整机性能及完善系统功能等。

放眼国际，起重机制造行业的巨头如加藤（KATO），格鲁夫（Grove），神户（KOBE），多田野（TADANO）和德马格（DE14AG）等，其产品占据国际起重机市场的大部分份额。他们根据自己的起重机产品配套有相应的起重机超载限制器。这些制造商的产品，基本上反映了国外起重机超载限制技术的发展历程。

八十年代，随着微处理技术的迅速发展，超载限制器的设计水平迈上了新台阶。如神户 MLS330A 型超载限制器，复杂的计算工作全部由软件来完成，系统的集成度和综合精度都得到了很大的提高。而且通用性好，对于不同型号的同系列起重机，只需要对软件参数和传感器量程作相应调整。具有系统自检功能，当系统硬件或工况设定出现问题，能及时报警及显示故障代码。采用数码管显示，拨码盘设定工况，手动电位器进行调节标定。

日本加藤 LS248V 型超载限制器用于履带吊是七十年代末的产品，它采用了大量的模拟电路对传感器信号进行处理计算，用模拟表显示。它相对机械式是个很大的进步，但存在精度低，维护难度大，易损坏等问题。

加藤 LS248V 型超载限制器作了进一步的改进，具有零点记忆功能，当显示载荷零点变动时通过简单操作即可记忆零点数据，及时调整。还可以方便地记忆某工况空载时不同幅度下的零点数据。经过内部分析处理，可减少摩擦等误差因

素对测量精度的影响。内部电路采用开关电源技术，提高了抗干扰及防护能力。采用新型高性能单片机及外围芯片，性能更加稳定，功耗更低，系统集成度更高。

现在加藤起重机配备的 ACS 型超载限制器是 90 年代后期产品，它采用了图形仪表盘，参数不再采用按钮切换操作显示的方式，“臂杆仰角”，“工作半径”，“极限载荷值”改为经常变化的数值显示。此外，安全度显示器改用鲜艳彩色条移动显示安全范围的彩变方式，所以起重机的载荷状态可一目了然。装设了故障指示结构，全自动超载限制器及其附件发生故障，会迅速使故障指示灯点亮，并用代码显示出故障部位和原因。

住友的（SUMITOMO）的 65 定履带式起重机所使用的超载限制器是 90 年代初期产品，技术性能有了进一步的改进，通用性强，通过简单改装可以适用于塔式轮式，履带式起重机，采用液晶显示，人机界面进一步优化，并具有故障代码显示功能。

Grove 公司的 DS359GW 型超载限制器的设计更突出体现了人机界面的优化。选用点阵字符 LCD 显示器，显示信息量大，强光下读数清晰，而且功耗极低。具有各种英文提示，发生故障时，可显示故障内容及处理方法。采用薄膜印刷面板，更加美观且防水。通过薄膜轻触进行工况参数的设定或操作一些辅助功能，操作灵活，改变。

Grove 公司于 2000 年 5 月推出了 RT900E 型起重机，起重机超载限制器已经被集成到控制室的中心控制台中。全部工作参数，如吊臂的倾斜角，吊臂的伸出长度，起重幅度，当前的载荷力矩，允许的最大重量及当前的起重量都可以在操作台上显示出来，电气系统中对所以工作参数都设置了安全极限值，当接近或超载时会自动发出警报。这一革新已经使起重超载限制器从起重设备的配套产品转变成成为系统整机的一个功能模块。

综合应用计算机，网络通讯，人工智能，微电子，自动控制，液力液压及多传感器融合等技术进行过程机械的智能检测和远程故障诊断。工程机械单机集成化操作与智能控制，基于网络的机群集成控制与智能化管理的研究是 21 世纪工程机械的三个重要发展方向。因此，运用高技术，新思路对国内现有产品进行系统的技术改造和性能提高，以带动我国传统工程机械产品尽快实现跨越式发展，提高我国工程机械产品的竞争力，已成为必然的趋势，也是我们所要做的重要工作。

纵观机电一体化技术的发展趋势和潮流，起重机超载限制器的技术有以下的发展方向：

（1）在电路技术上采用最先进的计算机技术，电子技术和新的优异的新型集成电路元件，提高整机集成度，电气性能，抗干扰和故障防护能力。如采用开关电源技术，将电源的输入与输出进行各类，有效扼防止高电压脉冲对后续电路的影响，选用可自恢复的保险丝器件将系统电路分块保护，当某一部分发生故障过电流时，自动切断，故障解除后自动恢复，使用数字电位器免除机械噪声等。

（2）功能设计日趋完善，如具有超载记录功能，当发生超载时，自动记录时间，日期，工况以及工作参数等，可为事故分析和设备维护保养提高参考依据。增加检验量，如重要液压回路温度，油压，发动机工况。虽然这些已超出限制范围，但是这些参数也是使用者关心的，这可以看做是超载限制器的外延。

（3）改善人机接口，采用先进的显示方式（如 LCD 点阵显示器），增加显示信息量，提高更直观，使用声音报告代替数字显示提高人机交流的和谐性，设计更简便的操作方式，具有灵活的在线动态标定功能，简化调试，标定工作量。

(4) 性能进一步提高, 具有吊重测量动态修正功能, 减少起吊, 摆动, 振荡等对吊重测量精度的影响, 考虑结构变形, 摩擦力误差因素, 建立更准确的数学模型和完善的标定方式, 提高系统精度。

(5) 在电路设计上简化器件的组成, 实行模块化, 标准化设计, 便于系统的测试, 维护和开展, 提高系统的开放性, 实现产品的系统化生产。

1.2 设计的主要内容和基本思路

该安全保护装置将借鉴国际, 国内起重机安全保护装置制造商产品的优缺点, 技术经验及其设计思想, 根据课题的要求, 采用未处理进行设计。

该安全保护装置要求根据不同的工作状态下的起吊特性曲线, 自动对起重机进行超载限制。安全保护装置的显示器可随时根据起吊重物是否超载来显示预警的黄灯和报警的红灯, 有预报警, 超限报警和超限控制功能。

主要进行的工作:

- (1) 总体方案的研究;
- (2) 系统硬件电路的设计;

重点解决的问题:

- (1) 可靠性设计

前向通道, 由于系统的传感器部分离主机部分较远, 故需要采取相应措施保障远距离传输信号的精度。

后向通道的隔离及驱动措施:

- (2) 提高系统精度

选取高精度的传感器及 A/D 转换芯片;

取力方案有多种, 各有其优缺点, 需选择最合理的取力方案;

- (3) 优良的人机界面

- ① 操作面板结构简单, 清晰明了;
- ② 更大量的信息说明提示;
- ③ 简化操作流程, 降低劳动强度;

- (4) 超载限制器的参数指标

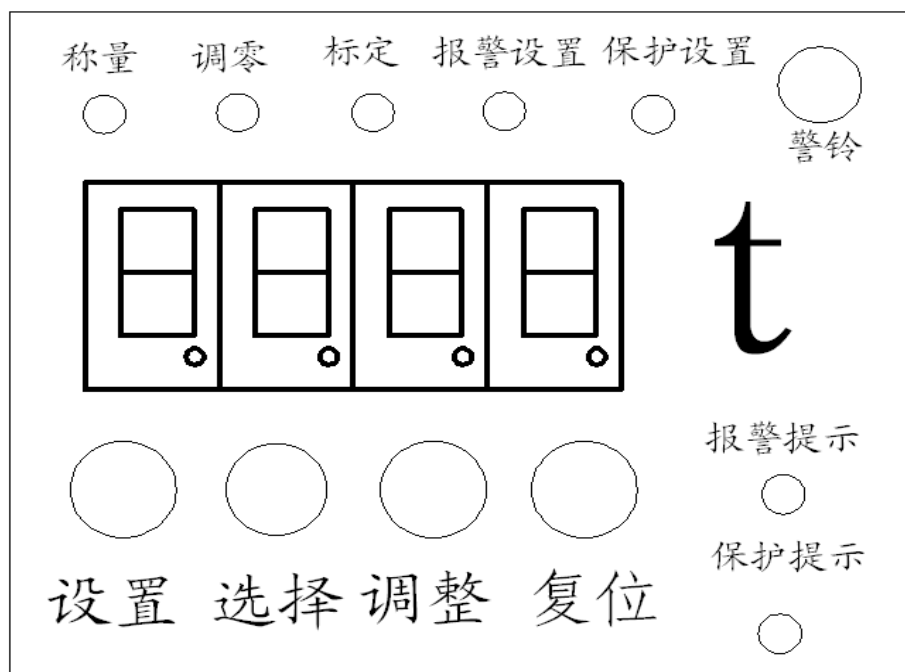
起重机在实际工作前, 超载限制器应先检测出挂钩, 承重等物体的重量, 这里把他们称为自重。当起重机实际起吊重物时, 测量到的重量为毛重, 而物体的实际重量等于毛重减去自重。当起重机超载限制器工作是, 若起重机承受重物在额定值的 90% 以内, 则该限制器显示重物的实际重量; 若重物的重量超过额定值的 90% 但在 105% 以内, 该限制器在显示重物实际重量时发出声光预警信号; 若重物的重量达到或超过额定值的 105% 该限制器将发出声光报警信号, 同时自动切断起重机电源。

- (5) 无线传送实际

无线传送实际可与扩大限制器的应用范围, 方便用户使用。

第二章 起重机超重保护仪设计系统分析

本称重系统的工作界面包括 4 个按键, 4 个 LED 和 7 个指示灯。如下图所示:



系统的原理图见附录二。

下面将对该系统进行详细的分析

2.1 工作原理

2.1.1 信号采集端

信号采集端的信号流如下图所示:

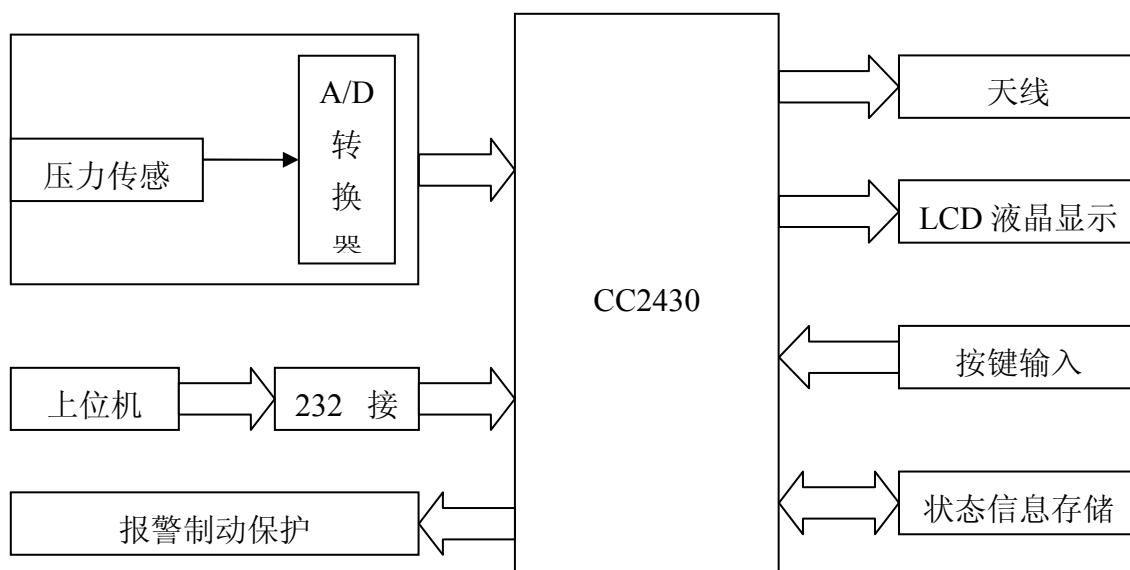
起重机吊起的重物的重量信号通过称重传感器的电流信号, A/D 转换器将电流信号转换成数字信号, 数字信号经过 CPU 处理传送到发送天线, 同时 CPU 通过 232 口与电脑进行信号交换, 以便更好的控制信号的发送。

2.1.2 信号接收端

信号接收端的信号流入下图

接受天线接受到发送天线的信号后, CPU 处理信号, 将处理好的信号传给 4 位 LED 显示, 同时 CPU 与按键连接, 用来控制称重系统的调零, 标定和称重, 电脑通过 232 口与 CPU 进行信号交换。

通过分析接收端和发送端可以整合到同一个电路中, 只要使用时调整其工作模式即可。其总体解决方案如下:



2.2.3 称重值

假设零点值为 A。当前显示值为 B，标定值为 C，则称重值 $M=C*(B-A)$

2.2 性能特点

(1)改称重系统采用的是无线传送，能短距离无线通讯，能够避免接线的困扰，能够运用于更多场合。

(2)本系统采用 CC2430 芯片，在单个芯片上整合了 ZigBee 射频(RF)前端、内存和微控制器可以实现简单便捷的数据传输功能

2.3 按键设置

2.3.1 复位键

当系统进入保护状态后，起重系统被关闭。复位键可以用来重新启动系统。

2.3.2 设置键

设置键具有对称重系统进行功能设置的功能，其功能代码如下：

名称	代码	说明
称量	00	设置键没按时，系统可以直接进行称量操作。
调零	01	设置键按一下，系统进入调零状态，调零完成之后，系统读秒 5 秒回归称量待命状态
标定	02	设置键按两下，系统进入标定状态，标定完成之后，系统读秒 5 秒回归称量待命状态
报警设置	03	设置键按三下，系统进入报警上限设置状态，报警上限设置完成之后，系统读秒 5 秒回归称量待命状态
保护设置	04	设置键按四下，系统进入保护上限设置状态，保护上限设置完成之后，系统读秒 5 秒回归称量待命状态

2.3.3 选择键

选择键是用来选择 4 个 LED 的。被选中的 LED 会进行闪烁表示该 LED 可进行调整了，未被选中的 LED 是常亮的。调整顺序由高位到低位，既没按一下，闪烁的 LED 往右移一位。一个循环后闪烁的 LED 跳到最左端。

2.3.4 调整键

调整键用来调整 LED 的显示值，改建与选择键配合使用，当某位的 LED 闪烁时，调整键每按一下，改位的数字值增加 1，一个循环后重新归零。

2.4 指示灯设置

称量，调零，标定，报警设置和保护设置该 5 个指示灯是用来指示设置键的当前功能状态的。当系统处于某种状态时该状态对应的指示灯亮其他灯灭。另外报警提示和保护提示指示灯是在系统处于非正常工作状态时用于警告使用者的，称重物体超过报警上限时报警指示灯（黄灯）亮，超过保护上限时保护指示灯（红灯）亮。

2.5 警铃设置

警铃是用来提醒用户系统正处于非正常工作状态，当重物超过报警上限时警铃会发出蜂鸣声，当重物超过保护上限时，警铃会发出刺耳的鸣声。

2.6 操作说明

2.6.1 复位

系统保护之后，可以按复位键复位。

2.6.2 称量

系统启动或复位后即可进行称量，称量之前可以不进行调零和标定操作，但当称重系统移动或者长期未使用时建议先进行调零和标定后再进行称量。以减少系统由于客观环境造成的误差。物重=（重物值-零点值）/标定值

2.6.3 调零

调零操作如下：

- a) 在称重状态下，按设置键一下，调零指示灯亮，此时计时器开始计时。
- b) 系统开始进行采样，在 5 秒时间内采样 1000 次，系统自动求取平均值。
- c) 当计时器记时变为 0 时，LRD 将显示此时的零点值。
- d) 在按一下选择键，系统返回称量状态。

2.6.4 标定

标定操作如下：

- a) 在称重状态下，按设置键两下，此时标定指示灯亮，最左位 LED 闪烁
- b) 按调整键调节最左位 LED 数值，至希望值为止。
- c) 按选择键一下，闪烁的 LED 右移一位，按调整键调整该 LED 数值至希望值。
- d) 重复上述操作直至 4 个 LED 均显示数值为希望值。此时标定设置完毕。
- e) 在称重台上放上标准重物按下选择键，开始标定，LED 将显示此时称重数据。
- f) 标定值=（称重数据-零点数据）/希望值。
- g) 在按一下选择键，系统返回称量状态。

2.6.4 报警上限设置

报警上限设置操作如下：

- a) 在称重状态下，按设置键 3 下，此时报警设置指示灯亮，最左位 LED 闪烁
- b) 仿照标定操作，对 4 个 LED 数值进行设置至希望值。
- c) 设置完毕后，再按一下选择键，返回称重状态。

2.6.6 保护上限设置

保护上限设置操作如下：

- a) 在称重状态下, 按设置键 4 下, 此时报警设置指示灯亮, 最左位 LED 闪烁
- b) 仿照标定操作, 对 4 个 LED 数值进行设置至希望值
- c) 设置完毕后, 再按一下选择键, 返回称重状态。

第三章 系统的芯片选择

3.1 传感器

3.1.1 简介

称重传感器实际上是一种将质量信号转变为可测量的电信号输出的装置。用传感器首先要考虑传感器所处的实际工作环境, 这点对正确选用称重传感器至关重要, 它关系到传感器能否正常工作以及它的安全和使用寿命, 乃至整个衡器的可靠性和安全性。[1]在称重传感器主要技术指标的基本概念和评价方法上, 新旧国标有质的差异。

传统概念上, 负荷传感器是称重传感器、测力传感器的统称, 用单项参数评价它的计量特性。旧国标将应用对象和使用环境条件完全不同的“称重”和“测力”两种传感器合二为一来考虑, 对试验和评价方法未给予区分。旧国标共有 21 项指标, 均在常温下进行试验; 并用非线性、滞后误差、重复性误差、蠕变、零点温度附加误差以及额定输出温度附加误差 6 项指标中的最大误差, 来确定称重传感器准确度等级, 分别用 0.02、0.03、0.05.....1.0 表示。

衡器上使用的一种力传感器。它能将作用在被测物体上的重力按一定比例转换成可计量的输出信号。考虑到不同使用地点的重力加速度和空气浮力对转换的影响, 称重传感器的性能指标主要有线性误差、滞后误差、重复性误差、蠕变、零点温度特性和灵敏度温度特性等。在各种衡器和质量计量系统中, 通常用综合误差带来控制传感器准确度, 并将综合误差带与衡器误差带(图 1)联系起来, 以便选用对应于某一准确度衡器的称重传感器。国际法制计量组织(OIML)规定, 传感器的误差带 δ 占衡器误差带 Δ 的 70%, 称重传感器的线性误差、滞后误差以及在规定温度范围内由于温度对灵敏度的影响所引起的误差等的总和不能超过误差带 δ 。这就允许制造厂对构成计量总误差的各个分量进行调整, 从而获得期望的准确度。

3.1.2 分类

称重传感器按转换方法分为光电式、液压式、电磁力式、电容式、磁极变形式、振动式、陀螺仪式、电阴应变式等 8 类, 以电阻应变式使用最广。

光电式传感器 包括光栅式和码盘式两种。

光栅式传感器利用光栅形成的莫尔条纹把角位移转换成光电信号(图 2)。光栅有两块, 一为固定光栅, 另一为装在表盘轴上的移动光栅。加在承重台上的被测物通过传力杠杆系统使表盘轴旋转, 带动移动光栅转动, 使莫尔条纹也随之移动。利用光电管、转换电路和显示仪表, 即可计算出移过的莫尔条纹数量, 测

出光栅转动角的大小，从而确定和读出被测物质量。

码盘式传感器（图 3）的码盘（符号板）是一块装在表盘轴上的透明玻璃，上面带有按一定编码方法编定的黑白相间的代码。加在承重台上的被测物通过传力杠杆使表盘轴旋转时，码盘也随之转过一定角度。光电池将透过码盘接受光信号并转换成电信号，然后由电路进行数字处理，最后在显示器上显示出代表被测质量的数字。光电式传感器曾主要用在机电结合秤上。

液压式传感器 如图 4 所示，在受被测物重力 P 作用时，液压油的压力增大，增大的程度与 P 成正比。测出压力的增大值，即可确定被测物的质量。液压式传感器结构简单而牢固，测量范围大，但准确度一般不超过 $1/100$ 。

电磁力式传感器 它利用承重台上的负荷与电磁力相平衡的原理工作（图 5）。当承重台上放有被测物时，杠杆的一端向上倾斜；光电件检测出倾斜度信号，经放大后流入线圈，产生电磁力，使杠杆恢复至平衡状态。对产生电磁平衡力的电流进行数字转换，即可确定被测物质量。电磁力式传感器准确度高，可达 $1/2000\sim 1/60000$ ，但称量范围仅在几十毫克至 10 千克之间。

电容式传感器 它利用电容器振荡电路的振荡频率 f 与极板间距 d 的正比例关系工作(图 6)。极板有两块，一块固定不动，另一块可移动。在承重台加载被测物时，板簧挠曲，两极板之间的距离发生变化，电路的振荡频率也随之变化。测出频率的变化即可求出承重台上被测物的质量。电容式传感器耗电量少，造价低，准确度为 $1/200\sim 1/500$ 。

磁极变形式传感器 如图 7 所示，铁磁元件在被测物重力作用下发生机械变形时，内部产生应力并引起导磁率变化，使绕在铁磁元件（磁极）两侧的次级线圈的感应电压也随之变化。测量出电压的变化量即可求出加到磁极上的力，进而确定被测物的质量。磁极变形式传感器的准确度不高，一般为 $1/100$ ，适用于大吨位称量工作，称量范围为几十至几万千克。

振动式传感器 弹性元件受力后，其固有振动频率与作用力的平方根成正比。测出固有频率的变化，即可求出被测物作用在弹性元件上的力，进而求出其质量。振动式传感器有振弦式和音叉式两种。

振弦式传感器（图 8）的弹性元件是弦丝。当承重台上加有被测物时，V 形弦丝的交点被拉向下，且左弦的拉力增大，右弦的拉力减小。两根弦的固有频率发生不同的变化。求出两根弦的频率之差，即可求出被测物的质量。振弦式传感器的准确度较高，可达 $1/1000\sim 1/10000$ ，称量范围为 100 克至几百千克，但结构复杂，加工难度大，造价高。

音叉式传感器(图 9)的弹性元件是音叉。音叉端部固定有压电元件，它以音叉的固有频率振荡，并可测出振荡频率。当承重台上加有被测物时，音叉拉伸方向受力而固有频率增加，增加的程度与施加力的平方根成正比。测出固有频率的变化，即可求出重物施加于音叉上的力，进而求出重物质量。音叉式传感器耗电量小，计量准确度高达 $1/10000\sim 1/200000$ ，称量范围为 $500g\sim 10kg$ 。

陀螺仪式传感器 如图 10 所示，转子装在内框架中，以角速度 ω 绕 X 轴稳定旋转。内框架经轴承与外框架联接，并可绕水平轴 Y 倾斜转动。外框架经万向联轴节与机座联接，并可绕垂直轴 Z 旋转。转子轴 (X 轴)在未受外力作用时保持水平状态。转子轴的一端在受到外力($P/2$)作用时，产生倾斜而绕垂直轴 Z 转动（进动）。进动角速度 ω 与外力 $P/2$ 成正比，通过检测频率的方法测出 ω ，即可求出外力大小，进而求出产生此外力的被测物的质量。

陀螺仪式传感器响应时间快(5 秒)，无滞后现象，温度特性好 (3ppm)，振

动影响小，频率测量准确精度高，故可得到高的分辨率(1/100000)和高的计量准确度(1/30000~1/60000)。

电阻应变式传感器 利用电阻应变片变形时其电阻也随之改变的原理工作（图 11）。主要由弹性元件、电阻应变片、测量电路和传输电缆 4 部分组成。电阻应变片贴在弹性元件上，弹性元件受力变形时，其上的应变片随之变形，并导致电阻改变。测量电路测出应变片电阻的变化并变换为与外力大小成比例的电信号输出。电信号经处理后以数字形式显示出被测物的质量。

电阻应变式传感器的称量范围为 300g 至数千 kg，计量准确度达 1/1000~1/10000，结构较简单，可靠性较好。大部分电子衡器均使用此传感器。

3.1.3 系统的称重传感器

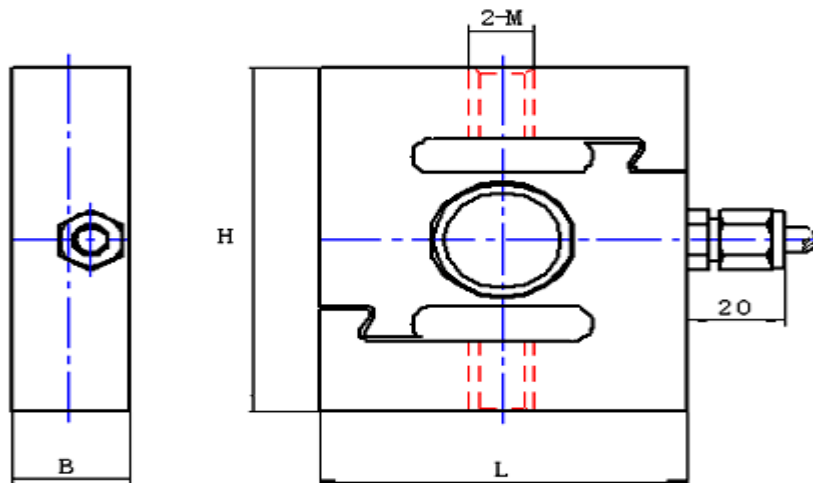
根据任务书的要求（称重传感器输出灵敏度：2mV/V 称重传感器桥路电阻：350Ω），我选择深圳市亚特克电子有限公司的 SUP94 应变片式张力传感器



其技术参数如下：

输出灵敏度	2.0±10% mV/V
零点输出	±2 %F. S.
非线性	0.02 %F. S.
滞后	0.02 %F. S.
重复性	0.02 %F. S.
蠕变(30 分钟)	0.03 %F. S.
温度灵敏度漂移	0.025 %F. S. /10℃
零点温度漂移	0.025 %F. S. /10℃
输入电阻	410±30 Ω
输出电阻	350±3 Ω
绝缘电阻	< 2000/50VDC MΩ

使用电压	10 V
最大使用电压	15 V
温度补偿范围	-10 ~ 40 °C
工作温度范围	-20 ~ 60 °C
安全超载	150 %F. S.
极限超载	300 %F. S. (SUP91: 200 %F. S.)



量程 Rated Load(t)	L	H	B	D
0.1~0.75	70	80	19	M12×1.75
1, 1.5	70	80	25	M12×1.75
2, 3, 5	95	108	25	M18×1.5
7.5, 10	130	178	51	M30×2
15, 20	160	190	60	M39×2

满足系统要求。

3.2 放大器

3.2.1 简介

放大器能把输入讯号的电压或功率放大的装置，由电子管或晶体管、电源变压器和其他电器元件组成。用在通讯、广播、雷达、电视、自动控制等各种装

置中。

3.2.2 集成运算放大器的分类

1.通用型集成运算放大器

通用型集成运算放大器是指它的技术参数比较适中,可满足大多数情况下的使用要求。通用型集成运算放大器又分为 I 型、II 型和 III 型,其中 I 型属低增益运算放大器,II 型属中增益运算放大器,III 型为高增益运算放大器。I 型和 II 型基本上是早期的产品,其输入失调电压在 2mV 左右,开环增益一般大于 80dB。

2.高精度集成运算放大器

高精度集成运算放大器是指那些失调电压小,温度漂移非常小,以及增益、共模抑制比非常高的运算放大器。这类运算放大器的噪声也比较小。其中单片高精度集成运算放大器的失调电压可小到几微伏,温度漂移小到几十微伏每摄氏度。

3.高速型集成运算放大器高速型集成运算放大器的输出电压转换速率很大,有的可达 $2\sim 3\text{kV}/\mu\text{S}$ 。

4.高输入阻抗集成运算放大器

高输入阻抗集成运算放大器的输入阻抗十分大,输入电流非常小。这类运算放大器的输入级往往采用 MOS 管。

5.低功耗集成运算放大器

低功耗集成运算放大器工作时的电流非常小,电源电压也很低,整个运算放大器的功耗仅为几十微瓦。这类集成运算放大器多用于便携式电子产品中。

6.宽频带集成运算放大器

宽频带集成运算放大器的频带很宽,其单位增益带宽可达千兆赫以上,往往用于宽频带放大电路中。

7.高压型集成运算放大器

一般集成运算放大器的供电电压在 15V 以下,而高压型集成运算放大器的供电电压可达数十伏。

8.功率型集成运算放大器

功率型集成运算放大器的输出级,可向负载提供比较大的功率输出。

3.2.3 系统的信号放大电路

为更好的实现放大功能,我们 AD620AN 作为作为放大电路的主芯片。其实物图如下:

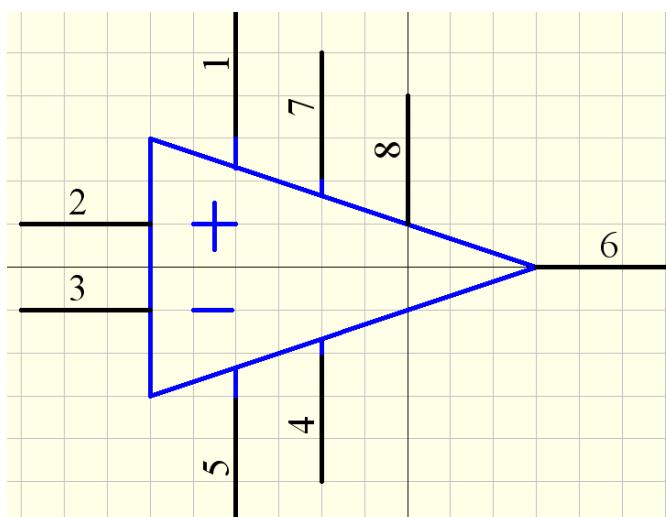


AD620AN，低漂移、低功耗仪表放大器，增益设置范围 1 至 10000

AD620AN 的型号标识和参数如下表所示：

AD620AN 的型号标识	
AD620	基本型号
A	工业级温度，A 级精度
N	封装类型，PDIP8
AD620AN 其他参数	
转换速率	1.2 V/ μ s
输入电流	900 μ A
输出电流	18 mA
温度等级	-40 $^{\circ}$ C ~ 85 $^{\circ}$ C

AD620AN 的封装为：类型：PDIP 引脚：8 宽度：300 mil
引脚布局如下图：



3.3 串口

3.3.1 简介

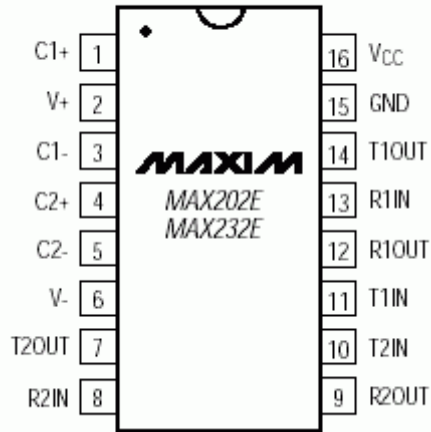
232 是个人计算机上的通讯接口之一，由电子工业协会(Electronic Industries Association, EIA) 所制定的异步传输标准接口。通常 RS-232 接口以 9 个引脚 (DB-9) 或是 25 个引脚 (DB-25) 的型态出现，一般个人计算机上会有两组 RS-232 接口，分别称为 COM1 和 COM2。

3.3.2 系统的串口

本系统选用的串口是 MAX232

引脚布局

无忧电子开发网 www.51kaifa.com



SP202E / MAX232 / SP233E / SP310E / SP312E 器件是一个符合 RS-232 和 V.28 串行协议规格的收发器家族，带有增强 ESD 性能。这些器件的 ESD 容限得到了改进，不论是人体放电模式还是 IEC1000-4-2 气隙放电，都达到了 $\pm 15\text{kV}$ 。SP202E / MAX232 / SP233E / SP310E / SP312E 器件在引脚上兼容 Sipex 的 SP232A / 233A / 310A / 312A 器件，符合热门行业标准。与原来的版本一样，在带负载情况下 SP202E / MAX232 / SP233E / SP310E / SP312E 器件具有至少 120Kbps 的数据传输速率， $0.1\mu\text{F}$ 的电荷泵电容，以及适应商业应用的整体强度。同时，这些器件还具有 Sipex 的双极型 CMOS 设计，允许低功耗操作，而不影响性能。SP202E / MAX232 / SP233E / SP310E / SP312E 系列可选塑料或陶瓷 DIP 和 SOIC 封装，覆盖商业级，工业级和军工级温度范围

MAX232 参数

MAX232 基本参数

$V_{cc}(\text{V})$	5 (4.5~5.5)
传输速率 (kbps)	120

MAX232 其他特性

发送器	2
接收器	2
ESD (KV)	15
内置电荷泵	Yes
外部电容数	4
外部电容大小(μF)	0.1
TTL 3 态	No

MAX232 封装类型

NSOIC16
WSOIC16
PDIP16

3.4 显示器

3.4.1 简介

系统的显示部分在整个系统中占有重要的地位，显示器的显示质量会受到多方面因素的影响，如温度，压力，湿度等外界环境的影响，所以如何可以保障显示的清晰数据，是不得不考虑的问题。

3.4.2 显示器的分类

显示器分为 LCD 显示器和 LED 显示器。

LCD 显示器的原文是 Liquid Crystal Display，取每字的第一个字母组成，中文多称液晶平面显示器或液晶显示器。其工作原理就是利用液晶的物理特性：通电时排列变得有序，使光线容易通过。不通电时排列混乱，阻止光线通过，说简单点就是让液晶如同闸门般的阻隔或让光线穿透。与 CRT 显示器相比，LCD 的优点主要包括零辐射，低功耗，散热小，体积小，图像还原精确，字符显示锐利等。

LED 采用超高发光材料，亮强度（UHB）是指发光强度达到或超过 100mcd 的 LED，又称坎德拉 LED。静态显示：LED 的亮度高，软件编程比较容易，但是他占有比较多的 I/O 口资源，常用的显示位数不多的情况。动态显示：它利用了人眼的视觉暂停效应，占用资源少，动态控制节省了驱动芯片的成本，节省了点，但编程比较复杂，亮度不如静态的好。

与 LED 相比,LCD 还有以下特点：

- (1) 工作电压低，仅 3-6V；
- (2) 功耗极小，比 LED 小几百倍；
- (3) 阳光直射下可以正常显示；
- (4) 工作温度较窄：-100—60℃
- (5) 反应较慢；

3.4.3 系统的显示器

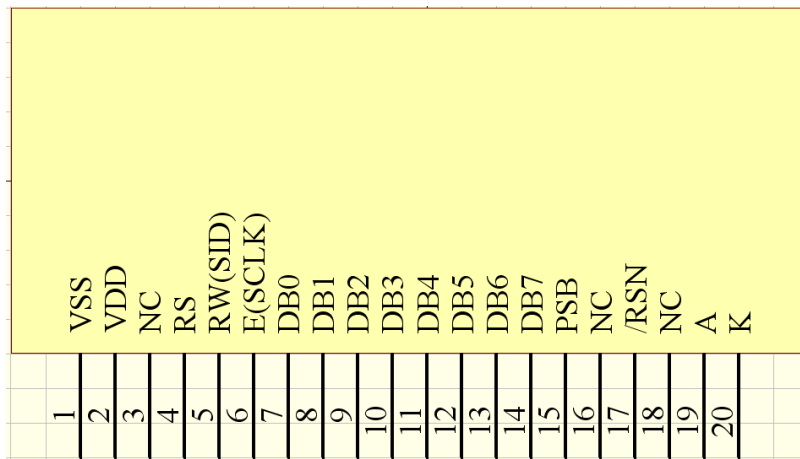
本系统采用的是字库图形液晶模块 JZD12864j-02



其引脚说明如下：

Interface Description			
PIN	Symbol	Level	Description
1	V _{SS}	0V	Ground
2	V _{DD}	5.0V	Power supply for Logic
3	NC	---	No connection
4	RS(CS)	H/L	H:Data L:Instruction (Chip enable for serial mode)
5	RW(SID)	H/L	H:Read L:Write (Serial data for serial mode)
6	E(SCLK)	H/L	Enable(Clock signal for serial mode)
7-14	DB0--DB7	H/L	Data bus
15	PSB	H/L	H:Parallel mode L:Serial mode
16	NC	---	No connection
17	/RST	L	Reset signal, active low
18	NC	---	No connection
19	A	+5V	Anode of LED Backlight
20	K	0V	Cathode of LED Backlight
Block Diagram			

引脚布局如下图：



3.5 系统的单片机

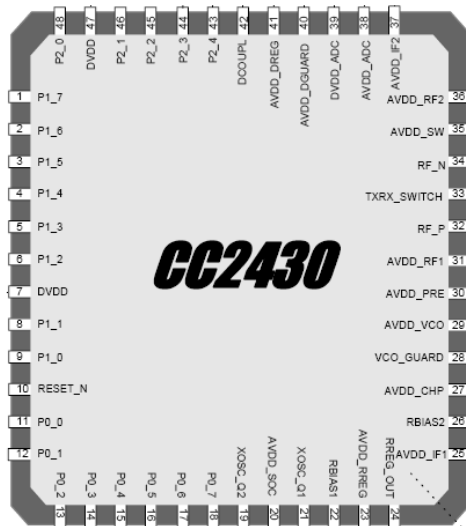
根据经济和实惠的原则本系统选择 C51RF-CC2430-CS ZigBee 无线网络经济型开发系统。CC2430/CC2431 是 Chipcon 公司推出的用来实现嵌入式 ZigBee 应用的片上系统。它支持 2.4GHz IEEE 802.15.4/ZigBee 协议。根据芯片内置闪存的不同容量，提供给用户 3 个版本，即 CC2430-F32/64/128，分别对应内置闪存

32/64/128 KB。



3.5.1 CC2430 引脚

CC2430 的引脚图如下



CC2430 的引脚说明:

1) I/O 端口线引脚功能

CC2430/CC2431 有 21 个可编程的 I/O 口引脚，P0、P1 口是完全的 8 位口，P2 口只有 5 个

可使用的位。通过软件设定一组 SFR 寄存器的位和字节，可使这些引脚作为通常的 I/O 口或作为连接 ADC、计时器或 USART 部件的外围设备 I/O 口使用。

I/O 口有下面的关键特性:

- ◆ 可设置为通常的 I/O 口，也可设置为外围 I/O 口使用。
- ◆ 在输入时有上拉和下拉能力。
- ◆ 全部 21 个数字 I/O 口引脚都具有响应外部的中断能力。如果需要外部设备，可对 I/O

口引脚产生中断，同时外部的中断事件也能被用来唤醒休眠模式。

1~6 脚 (P1_2~ P1_7): 具有 4 mA 输出驱动能力。

8~9 脚 (P1_0~P1_1): 具有 20 mA 的驱动能力。

11~18 脚 (P0_0 ~P0_7): 具有 4 mA 输出驱动能力。

43, 44, 45, 46, 48 脚 (P2_4, P2_3, P2_2, P2_1, P2_0): 具有 4 mA 输出驱动能力。

2) 电源线引脚功能

7 脚 (DVDD): 为 I/O 提供 2.0~3.6 V 工作电压。

20 脚 (AVDD_SOC): 为模拟电路连接 2.0~3.6 V 的电压。

23 脚 (AVDD_RREG): 为模拟电路连接 2.0~3.6 V 的电压。

24 脚 (RREG_OUT): 为 25, 27~31, 35~40 引脚端口提供 1.8 V 的稳定电压。

25 脚 (AVDD_IF1): 为接收器波段滤波器、模拟测试模块和 VGA 的第一部分电路提供 1.8 V 电压。

27 脚 (AVDD_CHP): 为环状滤波器的第一部分电路和充电泵提供 1.8 V 电压。

28 脚 (VCO_GUARD): VCO 屏蔽电路的报警连接端口。

29 脚 (AVDD_VCO): 为 VCO 和 PLL 环滤波器最后部分电路提供 1.8 V 电压。

30 脚 (AVDD_PRE): 为预定标器、Div 2 和 LO 缓冲器提供 1.8 V 的电压。

31 脚 (AVDD_RF1): 为 LNA、前置偏置电路和 PA 提供 1.8 V 的电压。

33 脚 (TXRX_SWITCH): 为 PA 提供调整电压。

35 脚 (AVDD_SW): 为 LNA/PA 交换电路提供 1.8 V 电压。

36 脚 (AVDD_RF2): 为接收和发射混频器提供 1.8 V 电压。

37 脚 (AVDD_IF2): 为低通滤波器和 VGA 的最后部分电路提供 1.8 V 电压。

38 脚 (AVDD_ADC): 为 ADC 和 DAC 的模拟电路部分提供 1.8 V 电压。

39 脚 (DVDD_ADC): 为 ADC 的数字电路部分提供 1.8 V 电压。

40 脚 (AVDD_DGUARD): 为隔离数字噪声电路连接电压。

通往无线桥梁 无线世界先锋

成都无线龙通讯科技有限公司 <http://www.c51rf.com> <http://www.rfmcu.cn>
info@c51rf.com

028-86786586 86615004 86617556(传真)

41 脚 (AVDD_DREG): 向电压调节器核心提供 2.0~3.6 V 电压。

42 脚 (DCOUP): 提供 1.8 V 的去耦电压, 此电压不为外电路所使用。

47 脚 (DVDD): 为 I/O 端口提供 2.0~3.6 V 的电压。

3) 控制线引脚功能

10 脚 (RESET_N): 复位引脚, 低电平有效。

19 脚 (XOSC_Q2): 32 MHz 的晶振引脚 2。

21 脚 (XOSC_Q1): 32 MHz 的晶振引脚 1, 或外部时钟输入引脚。

22 脚 (RBIAS1): 为参考电流提供精确的偏置电阻。

26 脚 (RBIAS2): 提供精确电阻, 43 k Ω , $\pm 1\%$ 。

32 脚 (RF_P): 在 RX 期间向 LNA 输入正向射频信号; 在 TX 期间接收来自 PA 的输入正向射频信号。

34 脚 (RF_N): 在 RX 期间向 LNA 输入负向射频信号; 在 TX 期间接收来自 PA 的输入负向射频信号。

43 脚 (P2_4/XOSC_Q2): 32.768 kHz XOSC 的 2.3 端口。

44 脚 (P2_4/XOSC_Q1): 32.768 kHz XOSC 的 2.4 端口。

3.5.2 CC2430 的特殊寄存器

特殊功能寄存器(SFR)用于控制 8051 CPU 核心和外部设备。一部分 8051 CPU 核心寄存器与标准 8051 特殊功能寄存器的功能相同；另一部分寄存器不同于标准 8051 特殊寄存器。它们用来与外部设备单元接口，以及控制 RF 收发器。特殊功能寄存器控制 CC2430/CC2431 的 8051 内核以及外设的各种重要的功能。大部分的 CC2430/CC2431 特殊功能寄存器与标准的 8051 特殊功能寄存器功能相同，少部分与标准 8051 的不同。不同的特殊功能寄存器主要是用于控制外设以及射频发射。

下表图介绍所有的特殊功能寄存器的地址。大写字母的为CC2430/CC2431 的特殊功能寄存器，小写字母为标准8051 的特殊功能寄存器。

8 bytes									
80	p0	sp	dpl0	dph0	dpl1	dph1	U0CSR	pcon	87
88	tcon	P0IFG	P1IFG	P2IFG	PICTL	P1IEN	-	P0INP	8F
90	p1	RFIM	dps	MPAGE	T2CMP	ST0	ST1	ST2	97
98	s0con	HSRC	ien2	s1con	T2PEROF0	T2PEROF1	T2PEROF2	-	9F
A0	p2	T2OF0	T2OF1	T2OF2	T2CAPLPL	T2CAPHPH	T2TLD	T2THD	A7
A8	ien0	ip0	-	FWT	FADDRH	FADDRH	FCTL	FWDATA	AF
B0	-	ENCDI	ENCDO	ENCCS	ADCCON1	ADCCON2	ADCCON3	RCCTL	B7
B8	ien1	ip1	ADCL	ADCH	RNDL	RNDH	SLEEP	-	BF
C0	ircon	U0BUF	U0BAUD	T2CNF	U0UCR	U0GCR	CLKCON	MEMCTR	C7
C8	t2con	WDCTL	T3CNT	T3CTL	T3CCTL0	T3CC0	T3CCTL1	T3CC1	CF
D0	psw	DMAIRQ	DMA1CFGH	DMA1CFGH	DMA0CFGH	DMA0CFGH	DMAARM	DMAREQ	D7
D8	TIMIF	RFD	T1CC0L	T1CC0H	T1CC1L	T1CC1H	T1CC2L	T1CC2H	DF
F0	acc	RFST	T1CNTI	T1CNTH	T1CTI	T1CCTI 0	T1CCTI 1	T1CCTI 2	F7
E8	ircon2	RFIF	T4CNT	T4CTL	T4CCTL0	T4CC0	T4CCTL1	T4CC1	EF
F0	b	PERCFG	ADCCFG	P0SEL	P1SEL	P2EL	P1INP	P2INP	F7
F8	U1CSR	U1BUF	U1BAUD	U1UCR	U1GCR	P0DIR	P1DIR	P2DIR	FF

第四章 起重机超重保护仪硬件设计

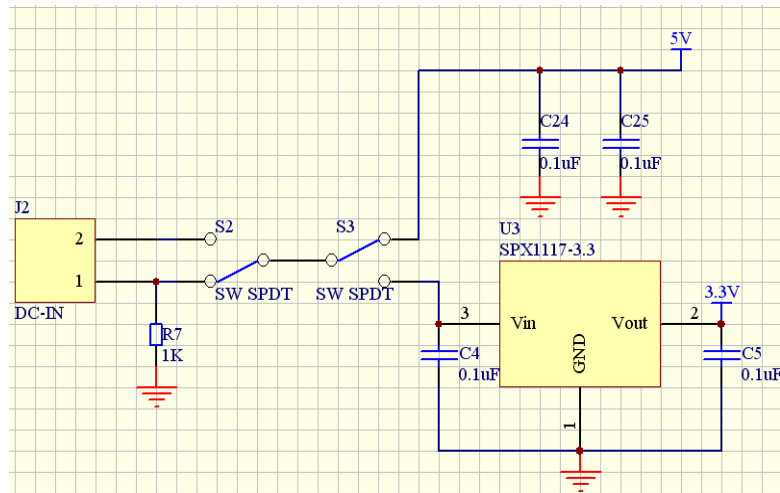
硬件设计电路分为：电源，传感器信号采集端，模拟信号放大电路，AD 转换电路，天线部分，光电报警电路，232 接口电路，按键设计和 LCD 显示部分下面将一一介绍各个电路部分。

4.1 电源部分

系统的电源设计主要考虑三个方面的内容：一如何降低电源的功耗；二如何设计外围电路和单片机对不同电源电压的需要，及电源分配方案的选择；三如何实现对电源的管理和监控。

本着经济实惠和简洁方便的原则，本系统采用的是 220V 电源供电经过变压器至 5V，并且与稳压源 SPX1117-3.3 共同组成电源部分，以满足芯片的电压

要求其电路图如下：



4.2 传感器信号采集端

在系统分析中已经确立了传感器的使用，下面我们来具体介绍下电阻应变式传感器

电阻应变式传感器是一种利用电阻应变效应，将各种力学量转换为电信号的结构型传感器。电阻应变片式电阻应变式传感器的核心元件，其工作原理是基于材料的电阻应变效应，电阻应变片即可单独作为传感器使用，又能作为敏感元件结合弹性元件构成力学量传感器。

导体的电阻随着机械变形而发生变化的现象叫做电阻应变效应。电阻应变片把机械应变信号转换为 $\Delta R/R$ 后，由于应变量及相应电阻变化一般都很微小，难以直接精确测量，且不便处理。因此，要采用转换电路把应变片的 $\Delta R/R$ 变化转换成电压或电流变化。其转换电路常用测量电桥。

直流电桥的特点是信号不会受各元件和导线的分布电感及电容的影响，抗干扰能力强，但因机械应变的输出信号小，要求用高增益和高稳定性的放大器放大。

下图为一直流供电的平衡电阻电桥， E_{in} 接直流电源 E：

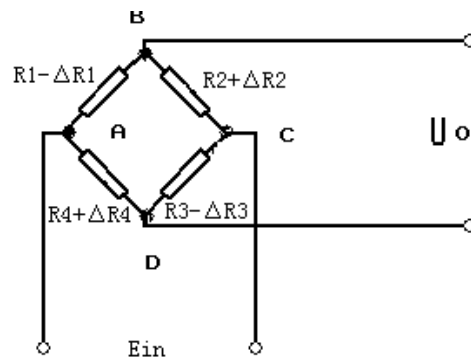


图 2.6 传感器结构原理图

当电桥输出端接无穷大负载电阻时，可视输出端为开路，此时直流电桥称为电压桥，即只有电压输出。

当忽略电源的内阻时，由分压原理有：

$$\begin{aligned}
 u_o &= u_{BD} = u_{AB} - u_{AD} \\
 &= E \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \\
 &= E \cdot \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (2.2)
 \end{aligned}$$

当满足条件 $R_1 R_3 = R_2 R_4$ 时，即

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \quad (2.3)$$

$u_o = 0$ ，即电桥平衡。式 (2.3) 称平衡条件。

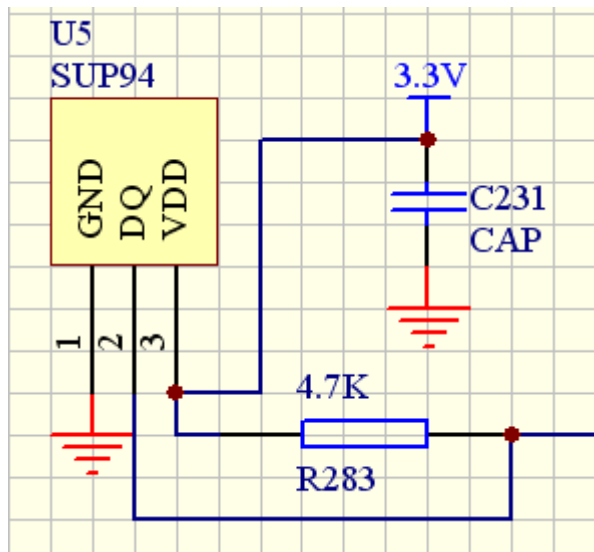
应变片测量电桥在测量前使电桥平衡，从而使测量时电桥输出电压只与应变片感受的应变所引起的电阻变化有关。

若差动工作，即 $R_1 = R - \Delta R$, $R_2 = R + \Delta R$, $R_3 = R - \Delta R$, $R_4 = R + \Delta R$ ，按式 (2.2)，则电桥输出为

$$\begin{aligned}
 u_o &= \frac{[(R + \Delta R)^2 - (R - \Delta R)^2]E}{[(R + \Delta R) + (R - \Delta R)][(R + \Delta R) + (R - \Delta R)]} \\
 &= \frac{\Delta R}{R} \cdot E \\
 &= k \varepsilon E \quad (2.4)
 \end{aligned}$$

应变片式传感器有如下特点：

- (1) 应用和测量范围广，应变片可制成各种机械量传感器。
- (2) 分辨力和灵敏度高，精度较高。
- (3) 结构轻小，对试件影响小，对复杂环境适应性强，可在高温、高压、强磁场等特殊环境中使用，频率响应好。
- (4) 商品化，使用方便，便于实现远距离、自动化测量。



4.3 模拟信号放大电路

在 100℃ 的环境中，Pt100 流过 1mA 电流时端电压仅为 138.5mV，必须经过信号放大电路将端电压进行适当的放大，才能送入 ADC 进行模数转换，保证温度测量的范围和精度。放大电路大多使用运算放大器进行信号放大。传统运算放大器的缺点是：通常使用双电源供电，单电源供电时性能不佳；输出摆幅小（如 LM358 输出最高电压为 VCC-1.5V 左右），且对电源电压依赖严重；闭环增益需要外部电路配合；抗干扰能力较差等。与传统运放相比，仪表放大器非线性误差低、噪声小、具有满摆幅输出能力、单电源供电性能好、增益调节简单等优点。仪表放大器的缺点是价格较高(例如太原市场上 AD620 单价为 20 元左右)、增益可能受外部电阻性能的影响等。

AD620 是 ADI 公司生产的单电源仪表放大器。它使用方便，在单电源供电时(VCC=3~12V)具有满摆幅输出能力。通过一个外部精密电阻，可以方便地设置 AD620 的增益：不接外部电阻时，放大器增益为 1；使用外部电阻时，增益可以在 1~1000 范围内调节，外接电阻 R_G 的计算公式为

$$R_G = \frac{100K\Omega}{G-1} \quad (3.14)$$

AD620 的引脚如图所示，引脚功能如下：

1. -RG：与引脚 8 配合，外接电阻，设置放大器
2. -IN：反相输入端；
3. +IN：同相输入端；
4. -Vs：单电源供电时接地；双电源供电时接负电源
5. REF：基准电压输入端；
6. OUT：输出引脚；
7. +Vs：单电源供电时接电源正极；双电源供电时接正电源
8. 外接电阻，设置放大器增益。

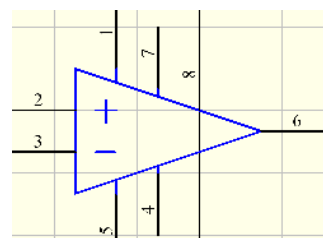
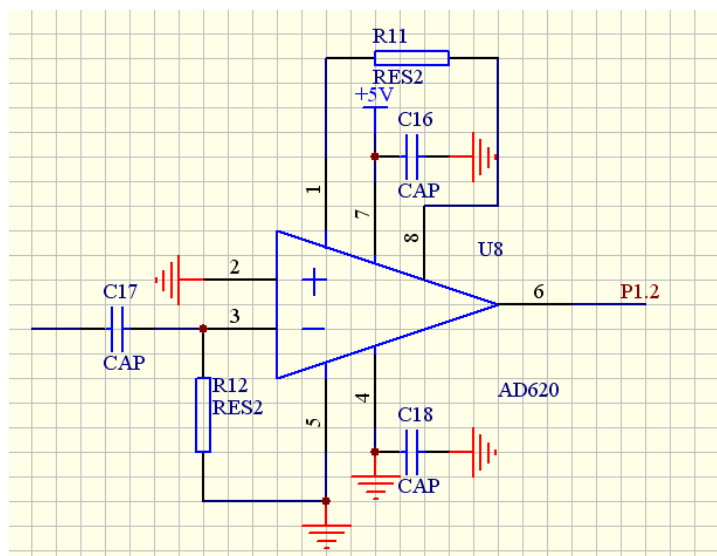


图 3-20 AD623 引脚示

信号放大电路的原理图如图所示，信号放大无需电平移动，故 REF 引脚接地。精密电阻 R11 作为 AD620 的外接电阻 R_G ，相应的阻值为 100~161.05 Ω ，

流过 1mA 产生的压降为 100mV~161.05mV，若选择 AD620 的增益为 20，放大电路的输出为 2.0V~3.221V，根据式(3.14)， R_G 应取 5.23K。通常，固定电阻与电位器串联时，固定电阻的阻值应为总阻值的 90%左右，故选取 $R1=4.7K$ ， $POT1=1K$ 。AD620 数据手册中推荐在电源引脚处加去耦电容，使用 $0.1\mu F$ 的瓷片电容 C7 效果最好。电容 C18 可以消除输入引脚上的高频杂波，C4 提高系统的稳定性。AD620 对负载有一定要求，其输入阻抗不能小于 10K，电阻 R12 起阻抗匹配作用，增大了 AD620 的负载阻抗，满足 AD620 的使用要求。

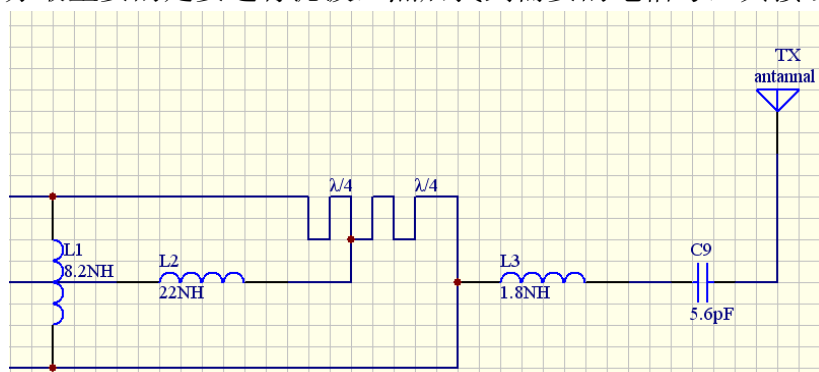
传感器采集到的信号比较微弱，必须经过放大电路将信号放大，其放大电路如下：



经过放大的信号将接到单片机的 P1.2 口，由于 CC2430 自己带有 AD 转换电路，所以不用再接 AD 转换电路，只需直接接到单片机上即可。

4.4 天线部分

天线部分最重要的是要进行滤波，然后找到需要的电信号，其接线图如下：

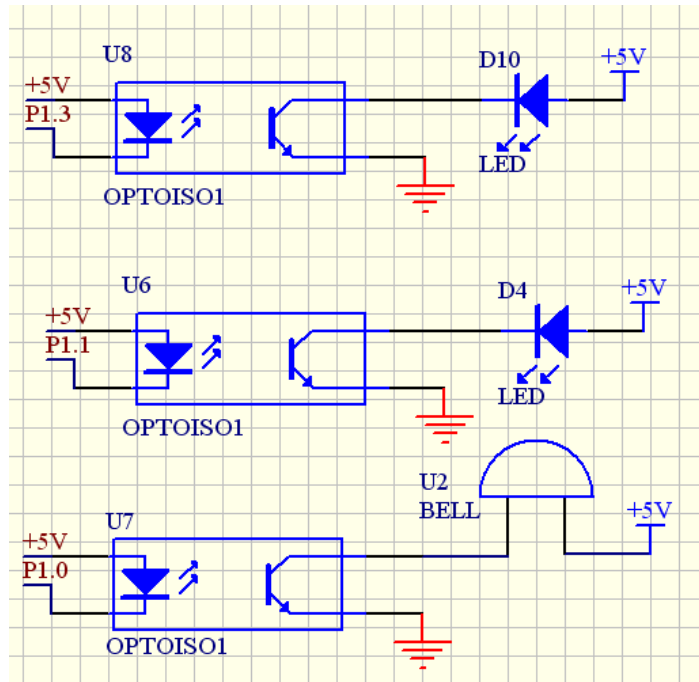


天线将连接到单片机的 32, 33, 34 三个口，通过软件编程，可以改变天线工作模式，既可以接受，也可以发送信息，以达到接受和发送模块的整合。

4.5 光电报警电路

报警在起重机超载限制器中的实用很重要，当起重机起重时的重物过高，而操作人员不清楚的话，很容易引起意外事故。因此报警电路的作用在于当起重机的重量达到额定值的 90%-105%以内黄灯显示，警铃会发出蜂鸣声，超过额定值的 105%时则报警，并且红灯显示，警铃会发出刺耳的鸣声

其电路图如下



图中的 U6, U7, U8 都是光电隔离器，用来保护发光二极管和蜂鸣器的，防止系统意外短路时电流过大，将两元器件烧坏，起保护作用。

4.6 232 接口电路

RS232C 是美国电子工业协会(EIA)制定的一种国际通用的串行接口标准。它最初是为远程通信连接数据终端设备(DTE)和数据通信设备(DCE)制定的标准，目前已经广泛用于计算机与终端或外部设备的串行通信接口标准。该标准规定了通信设备之间信号传输的机械特性、信号功能、电气特性和连接方式。

1. 机械特性及信号功能：RS232C 的机械特性及引脚信号决定了微机与外部设备的连接方式。如图 3-14 所示，为 DB9 连接器，它有 9 个引脚，1~5 引脚为一排，6~9 引脚为另一排，各引脚功能见表 3-3。RS232C 所能直接连接的通信设备最长距离为 15m，最高通信速率为 20000bps。

表 3-3 RS232C 引脚功能说明

引脚号	信号名称	功能	传输方向
1	DCD	载波检测	输入
2	RXD	接收数据	输入
3	TXD	发送数据	输出
4	DTR	数据准备就绪	输出

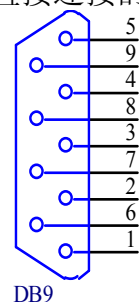
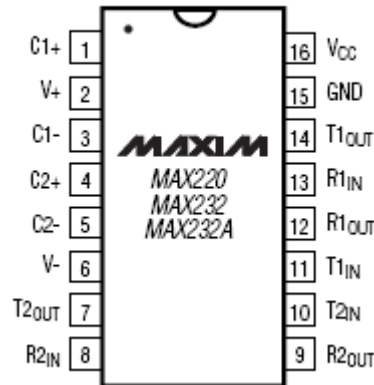


图 3-14 DB9 接

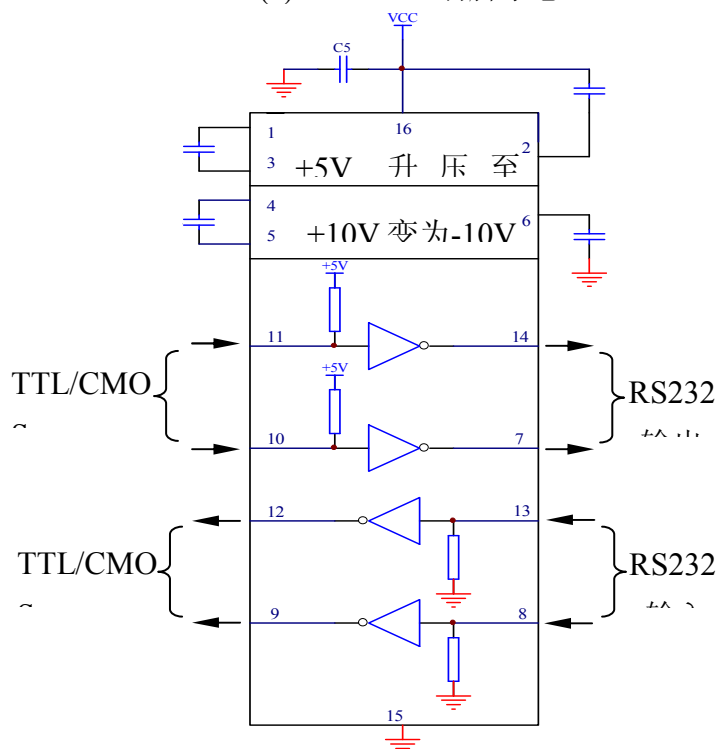
5	GND	信号地	
6	DSR	外部设备准备就绪	输入
7	RTS	请求传送	输出
8	CTS	允许传送	输入
9	RI	振铃指示	输入

2. 电气特性及连接方式：RS232C 的电气特性规定了各种信号传输的逻辑电平。对于 TXD 和 RXD 的数据信号，采用负逻辑。用-3~-25V(通常为-3~-15V)表示逻辑 1；用+3~-+25V(通常为+3~+15V)表示逻辑 0。显然，RS232C 的逻辑电平与 ATmega16L 的逻辑电平不兼容。为了实现串行通讯，就必须在两者之间增加电平转换电路。

3. MAX232 电平转换芯片：MAX232 是美国美信(MAXIM)公司的双通道 RS232 电平转换芯片。该芯片使用+5V 供电，可以将 TTL/CMOS 电平转换到 RS232C 的逻辑电平。MAX232 芯片的引脚如图(a)所示，MAX232 的内部结构如图(b)所示。



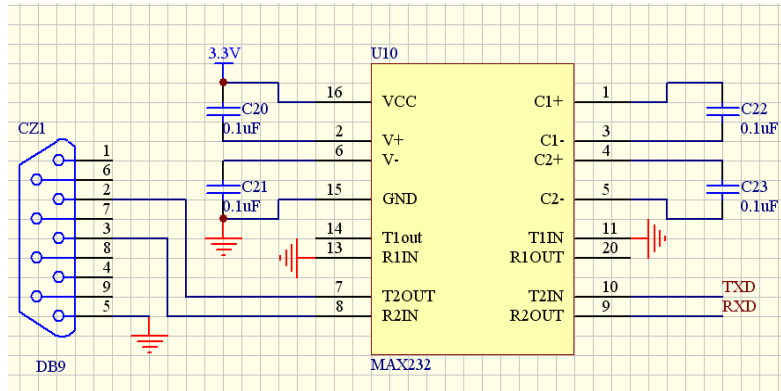
(a) MAX232 引脚示意



预拉线图

MAX232 引脚和结

RS232 接口电路如下图所示，电容 C1~C4 需要根据所购买芯片的实际型号确定电容值，MAX232 要求为 $1\mu\text{F}$ ，MAX232A 要求为 $0.1\mu\text{F}$ ，其余厂家生产的型号应查阅相关的数据手册。电容 C5 为去耦电容，可以滤去电源中的噪声。电阻 R1 和 R2 起保护作用，防止焊接、程序错误损坏计算机串口。JP1 和 JP2 为跳线，当使用 RS232 接口时，需要将跳线短接；当不需要 RS232 接口时，可以将跳线断开，TXD(PD0)、RXD(PD1)可以作为普通 I/O 口使用。



4.7 LCD 电路

发光二极管 (LED) 显示器是有若干个发光二极管组成的，当发光二极管导通时，相应的一个点或者一个笔画发光，控制不同组合的二极管导通，就能显示各种字符。但它有一个缺陷，即在阳光直射下看不清楚。液晶显示器 (LCD) 是利用液晶的弯曲一向列效应制成的，这是一种点成效应，夹在两片导电玻璃电极间的液晶经过一定的处理，它的内部的分子呈 90° 度的弯曲，当线性偏振光透过其偏振面便会旋转 90° 度。当在玻璃电极上加电压后，在电场作用下，液晶的扭曲结构消失，其旋光作用也消失，偏振光便可直接透过。当去掉电场后液晶分子就会恢复扭曲结构。吧这样的液晶置于两面三刀偏振片之间，改变偏振片相对位置 (正交或平移)，就可得到白底黑字或黑底白字的显示形式。从显示显示上通常可分笔段型，字符型和点阵图行。液晶显示器在使用时必须选配相应的控制器和驱动器才能工作。将液晶显示模块，控制器，PCB 线路板。背光源，结构件装配在一起的器件称之为液晶显示模块。值需通过控制器接口外接数字信号或模拟信号即可驱动 LCD 显示。因液晶显示模块使用方便，简洁，在字符型 LCD 和点阵图型 LCD 中得到广泛应用。

本系统需要显示的数据为：实际物体重量，显示的重量为实际重量的 10 倍，因此在观看时，应该将屏幕上的值缩小 10 倍。这样可以省略在程序设计时，要考虑小数点的设计麻烦。因为可以通过自动方式将实际重量值算出来，所以本设计不必显示毛重，自重，其中实际重量=毛重-自重。4 位码液晶显示模块 JZD12864j-02 由显示器，驱动电路，8 位 Cpu 接口构成，接口信号与 CMOS 和 TTL 兼容。较好的满足了本系统的各项要求。

它的主要参数有：

- 电源：+5V；
- 驱动方式：静态；

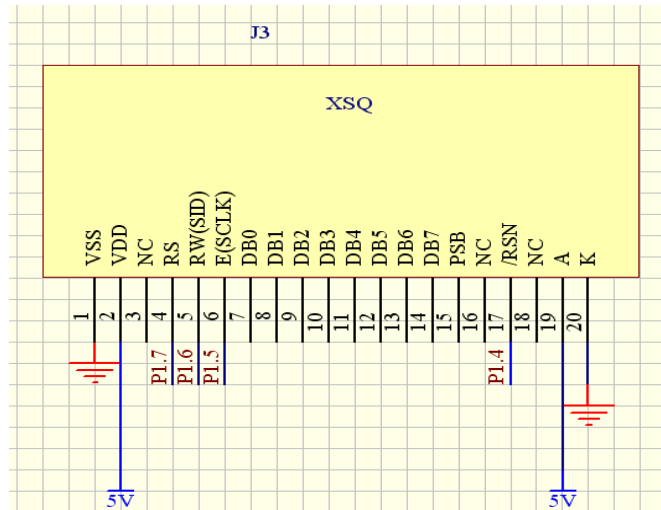
显示容量：4 位数字（带小数点）

传输方式：反射式；

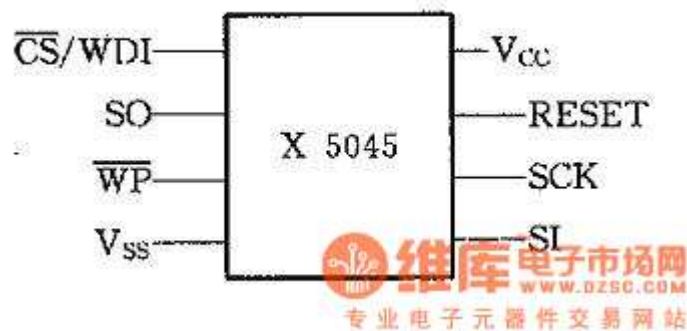
显示方式：正显示；

工作温度：0~+55 度

JZD12864j-02 显示器接线如图所示。



4.8 E²ROM 存储器电路



系统的 E²ROM 存储器是 X0545，它有 8 个引脚：

CS/WDI：片选输入/看门狗复位输入；

SO：串行输出；

WP：写保护输入；

Vss：地；

Vcc：电源；

RESET：复位输出；

SCK：同步时钟输入；

SI：串行输入。

X5045 的状态寄存器描述器件的当前状态，各位意义如表 1 所列。

表 1

7 6 5 4 3 2 1 0
 0 0 WD1 WD0 BL1 BL0 WEL WIP

其中，WD1、WD0 是看门狗定时时间设置位；BL1、BL0 是存储单元写保护区设置位；WEL 是只读标志，1 表明写使能开关打开；WIP 也是只读标志，1 代表芯片内部正处于写周期。电复位时，各位都被清零。

X5045 芯片功能包括以下 4 种：

(1) 上电复位控制。在对 X5045 通电时，ERSET 引脚输出有效的复位信号，并保持至少 200ms，使 CPU 有效复位。

(2) 电源电压监控。当检测到电源电压低于内部门槛电压 VTRIP 时，RESET 输出复位信号，直至电源电压高于 VTRIP 并保持至少 200ms，复位信号才被撤消。VTRIP 的出厂值根据芯片型号不同共有 5 个级别的电压范围。对于需要电源电压精确监控的应用，用户可以搭建编程电路，对芯片内 VTRIP 电压进行微调。

(3) 看门狗定时器。芯片内部状态寄存器的 WD1、WD0 是看门狗定时设置位，通过状态寄存器写指令 WRSR 修改这 2 个标志位，就能在 3 种定时间隔中进行选择或关闭定时器。对看门狗的复位由 CS 输入电平的下降沿完成。表 2 是 WD1、WD0 组合的含义。

表 2

WD1	WD0	看门狗定时值
0	0	1.4s
0	1	600ms
1	0	200ms
1	1	禁止看门狗工作

(4) 串行 E2PROM。芯片内含 512 字节存储单元，10 万次可靠写，数据保持时间 100 年。XICOR 设计了 3 种保护方式防止误写。包括：WP 写保护引脚，当引脚被拉低时，内部存储单元状态寄存器都禁止写入；存储区域写保护模式，通过对状态寄存器的 BL1、BL0 位的设置，可以选择对不同的存储区域进行写保护；在进行任何写操作前都必须打开写使能开关，而且在上电初始化写操作完成时，写使能开关自动关闭。显然，在几方面的保护之下，产生误写的可能性极小，表 3 是 BL1、BL0 组合的含义。

表 3

BL1	BL0	写保护的单元地址
0	0	没有保护
0	1	180H~1FFH
1	0	100H~1FFH
1	1	000H~1FFH

对 X5045 的操作是通过 4 根口线 CS、SCK、SI 和 SO 进行同步串行通信来完成的。SCK 是外部输入的同步时钟信号。在对芯片定改指令或数据时，时钟前沿将 SI 引脚信号输入；在读数据时，时钟后沿将数据位输出到 SO 引脚上。数据的输入/输出都是高位在先。

芯片内部共有 6 条指令，如表 4 所列。

表 4

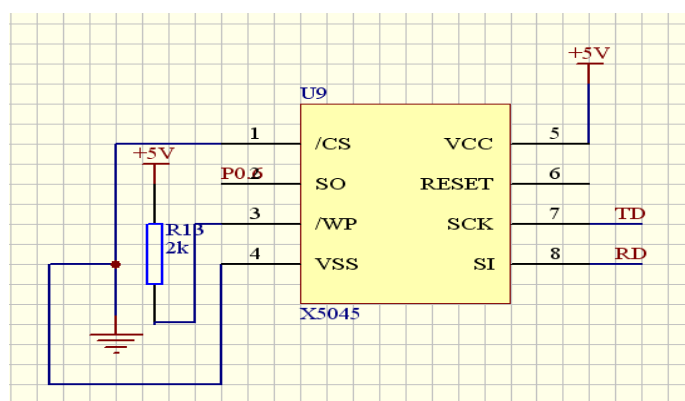
命令名称	命令格式	内 容
WREN	0000 0110	打开写使能开关

WRDI	0000 0100	关闭写使能开关
RDSR	0000 0101	读状态寄存器
WRSR	0000 0001	写状态寄存器
READ	0000 A8011	读存储单元
WRITE	0000 A8010	写存储单元

(1) WREN 和 WRDI 是写使能开关的开/关指令。它们都是单字节指令。

(2) RDSR 和 WRSR 是状态寄存器的读/写指令。在从 SI 输入指令后，RDSR 的执行结果，即状态寄存器内容须从 SO 读出；而 WRSR 需要紧接着输入修改数据。

其界限电路图如下：



第五章 实验电路板设计

根据第三章所设计的电路原理图，生成网络表，便可以绘制实验板的电路板(PCB)图。绘制电路板图仍然使用 Protel99SE 软件。

5.1 Protel99SE 软件简介

Protel99SE 是一种常用的电路板设计软件，该软件主要由两大部分组成：电路原理图设计（Advanced Schematic）和多层印刷电路板设计（Advanced PCB）。软件中还集成了一系列的电路设计工具，使用这些工具，设计者可以轻松地完成绘制电路原理图、元件图和元件封装图，设计电路板图等工作。此外，其分层组织设计功能、设计同步器、丰富的电气设计检验功能及强大而完善的打印输出功能，极大的方便了用户的使用。

一般而言，设计电路板的基本过程可以分为 3 个步骤：

1. 设计电路原理图(SCH)：主要使用 Protel99SE 的原理图设计系统绘制出一幅正确、美观的电路原理图。在此过程中，若在元件库中找不到所需的元件，还应绘制相应的元件图。若需要制作电路板图，则还需要购买相应的元件，仔细测量元件与管脚的尺寸，绘制元件封装图。

2. 生成网络表(Netlist)：网络表是连接电路原理图(SCH)与电路板图(PCB)之间的桥梁，它使电路板布局、布线变的方便、直观。通常，网络表可以从电路原理图(SCH)或电路板图中获得。

3. 设计电路板图：电路板设计分为元件布局和布线。通常，设计者都采用人工布局；对于简单电路和单面板，使用自动布线较为方便，对于复杂电路的设计，通常选用人工布线，以符合电路功能和抗干扰要求。

5.2 制作元件封装图

元件封装就是原理图中元件的 Footprint 选项所填的内容。对于同一个元件，常有不同的封装形式，例如 ATmega16L 单片机就有 PDIP-40、TQFP-44、MLF-44 三种封装形式。元件封装的主要参数是形状尺寸，制作元件封装图时，必须有正确的尺寸，这样元件才能无差错地安装并焊接在电路板上。在原理图中注重的是元件的引脚，引脚编号是重要的电气对象，引脚之间的连接不能有任何错误；而在电路板图中，不仅看中元件引脚之间的连接，还注重元件及其引脚的外形尺寸。原理图中元件的引脚编号对应该元件封装图中的焊盘编号，原理图中引脚与引脚间的导线连接转换为电路板中焊盘与焊盘间的铜膜线连接。原理图元件的引脚编号必须与封装图中的焊盘编号一致，如图 4-1 所示，是一些常用元件原理图引脚与封装图焊盘的对应关系，其中电阻、电容、电位器的对应关系一致，二极管的对应关系不一致，导致网络表调入电路板图设计环境时出错。

元件封装图的结构如图 4-2 所示，它包含三个部分：

1. 元件图形：元件的几何形状，不具备电气性质。
2. 焊盘：实际就是元件的引脚。焊盘上的号码就是管脚号码，焊盘的号码必须与原理图中元件的引脚号码一致，否则就会出现缺少网络节点的错误。焊盘的号码、尺寸、位置十分重要，如果出现错误，电路板就会报废。
3. 元件属性：用于设置元件的位置、层次、编号和注释字体等内容。元件的基本属性是序号(Designator)和注释(Comment)。

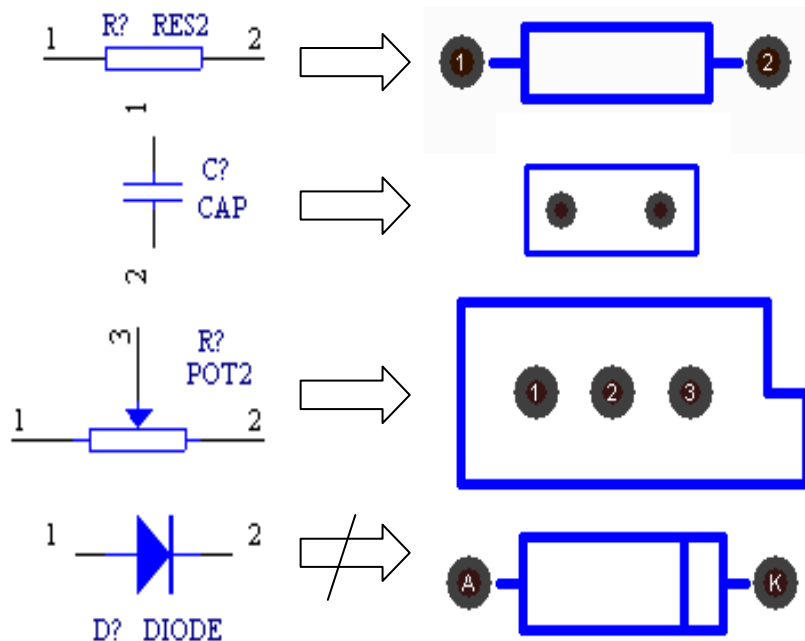


图 4-1 原理图元件引脚编号和封装图焊盘编号的关系图

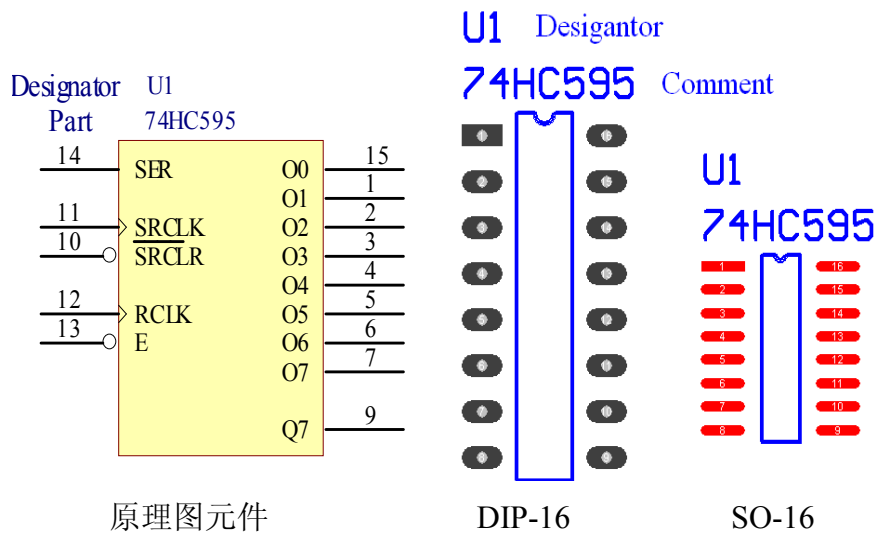
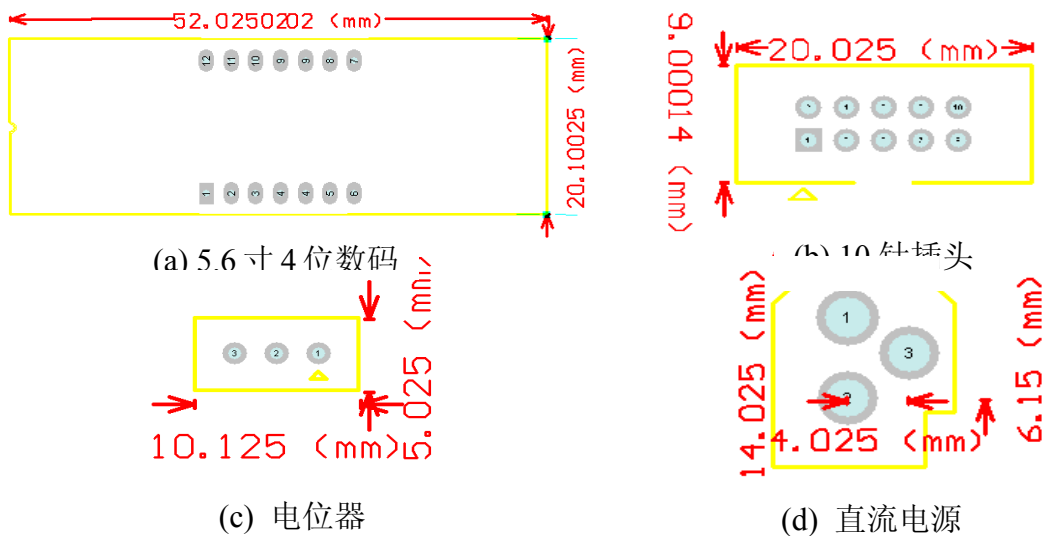


图 4-2 元件封装图

Protel99SE 软件中包含了很多常用的元件封装。对于一个元件，选择哪个封装形式取决于设计要求和市场供应。通常有很多元件(例如开关、按钮、继电器等)无法在 Protel99SE 中找到现成的封装图，这就需要设计者根据与元件及其引脚的外形尺寸自行制作元件封装图。

Protel99SE 提供了用于制作常用元件封装的元件封装向导，利用它可以方便制作电阻、电容、二极管、DIP 封装、SOP 封装等。此外，对于一些不规则的元件封装，还可以人工直接制作。利用菜单 Design/Make Library 可以将电路板上的元件封装收集起来，制作一个元件库，这样就可以在设计其他电路板时使用这些元件封装了。图 4-3 是本实验板需要自行制作的元件封装图示例。



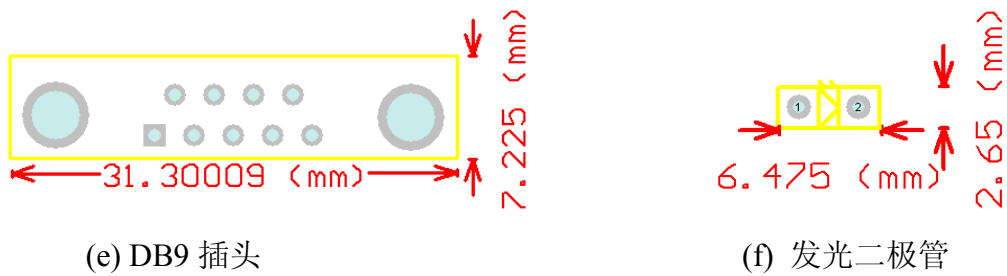
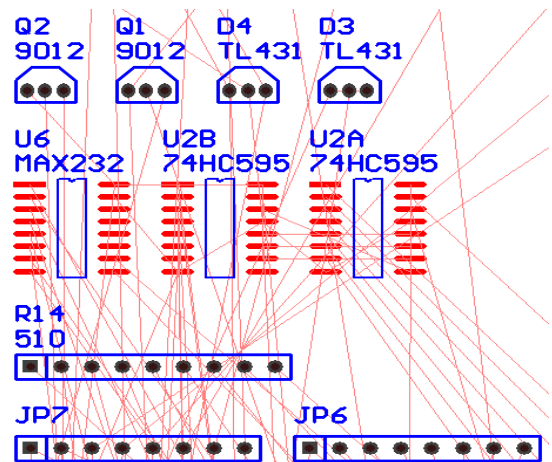


图 4-3 自制的部分元件封装示例图

5.3 网络表的调用

网络表是描述电路元件的编号、封装和元件管脚之间连接关系的列表，它是原理图的文本表达方式，是原理图与电路板图之间的桥梁，由原理图生成。原理图绘制完成后，启动建立网络表菜单 Design/Create Netlist，进行相应的设置，便可以建立网络表。在 PCB 设计环境下，通过菜单 Design/Load Net 可以启动网络编辑器，它的功能是将原理图生成的网络表调入电路板设计环境。它首先将调入的网络表翻译成可以执行的宏命令，然后执行宏命令将元件封装和网络放置到电路板上。网络表调入网络表管理器后，若元件封装名正确、封装库打开、元件引脚与焊盘编号一一对应，没有错误后，所有宏命令均有效，便可以单击 Execute 按钮执行宏命令，将元件封装和网络放置在电路板上。执行宏命令后，元件封装和预拉线如图 4-4 所示。



(b) 网络表调用后的元件封装和

5.4 电路板设计原则

对于电子产品来说，电路板设计是从硬件电路原理图到一个具体产品的必经之路，电路板设计是否合理与产品质量高低密切相关。想要设计出实用的电路板，必须经过长期的实践积累，掌握电路板的一般设计原则和相应抗干扰措施。

5.4.1 电路板的选用

电路板一般用覆铜层压板制成，板材选用要从电气性能、可靠性、加工工艺要求和成本等方面考虑。常用的覆铜层压板是覆铜酚醛纸质层压板、覆铜环氧纸质层压板、覆铜环氧玻璃布层压板、覆铜环氧酚醛玻璃布层压板等^[5]。不同材料的层压板有不同的性能特点。

1. 环氧树脂与铜膜有良好的粘合力，因此铜膜的附着强度和工作温度

较高，可以在 260℃ 的熔锡中不起气泡。

2. 超高频电路板最好使用覆铜聚四氟乙烯玻璃布层压板。
3. 在要求阻燃的电子设备上，要需要有阻燃功能的电路板，这些电路板都是浸入了阻燃剂树脂的电路板。
4. 电路板的厚度应该根据电路板的功能、插座的规格、电路板的外形尺寸、元件的重量等决定，应保证电路板有足够的刚度和强度。常见的电路板厚度有 0.5mm、1mm、1.5mm、2mm 等。
5. 电路板的尺寸：从成本、铜膜线长度、抗噪声能力考虑，电路板的尺寸越小越好，但电路板尺寸太小，元件的散热条件不好，且相邻铜膜线之间容易引起干扰。一般情况下，在禁止布线层中指定的布线范围就是电路板的尺寸。电路板的最佳形状是矩形，长宽比为 3:2 或 4:3 等。

5.4.2 电路板布局原则

虽然 Protel99SE 软件能够自动布局，但绝大多数电路板设计均采用人工布局，一般遵循以下原则：

1. 将元件按照功能分类进行布局，元件排放应该均匀、整齐、紧凑，减少和缩短各个元件之间的铜膜线长度。
2. 按照电路的流程，安排各个功能电路的位置，使信号流通更加顺畅。
3. 如果没有特殊要求，尽量按照原理图的元件安排对元件进行布局。
4. 数字电路应该与模拟电路分开布局，应使数字电路远离模拟电路，模拟电路与其输入、输出、电源、地线连接器靠近。高频电路与低频电路分开，大电流电路与小电流电路分开。
5. 对于可调节的器件，应该考虑整机的结构要求，若是机内调节，可调器件应放在电路板容易调节的地方，若是机外调节，其位置要与调节旋钮在机箱面板上的位置相对应。
6. 发热量较大的元件应远离热敏元件。
7. 高频元件之间的铜膜线越短越好，以减小铜膜线的分布参数和相互之间的电磁干扰。易受干扰的元器件距离不能太近。
8. 元件放置的顺序：首先放置与产品结构密切配合的固定位置的元器件，如电源插座、指示灯、开关等。再放置特殊元器件和尺寸较大的元件，例如发热元件、变压器、集成电路等。最后放置小元件，例如电阻、电容、二极管等。
9. 集成电路 1 号管脚的方向尽可能一致。
10. 电路板两面放置元件可以节省电路板面积。应该注意，放在焊接面的元件是放在元件面的元件封装的镜像。
11. 高电压和大电流器件应该尽量布置在人手不易触及的地方，并标明注意事项，保证调试设备时人身的安全。

5.4.3 电路板布线原则

1. 线长：铜膜线的长度应该尽可能短，尤其在高频电路中更是如此。铜膜线的拐角处应该为 45°，避免 90° 拐角或尖角。电路板为双面板时，两面的铜膜线应该相互垂直、斜交，避免相互平行，以减小寄生电容。

2. 线宽：铜膜线的宽度应满足电气性能的需要，且方便电路板的生产。线宽的最小值取决于通过它的电流，一般情况下，信号线的宽度应大于等于 10mil，电源和地线越宽越好。PCB 铜膜线的厚度以盎司每平方英尺为单位，称为 OZ，每盎司为 1/16 磅，1OZ 的电路板最常用。2OZ 或 4OZ 的电路板常用于大电流、高可靠性设计^[5]。铜膜线宽度与其通过电流的关系如表 4-1。

表 4-1 铜膜线宽度与通过电流的关系

电流(A)	1OZ 时铜膜线宽度(mil)	2OZ 时铜膜线宽度(mil)	毫欧/英寸
1	10	5	52
2	30	15	17.2
3	50	25	10.3
4	80	40	6.4
5	100	55	4.7

3. 线间距：相邻铜膜线之间的间距应满足电气安全的需要。通常铜膜线的间距应越宽越好，最小间距至少能承受所加电压的峰值，在布线密度低的情况下，间距应该尽可能大，方便生产、减少电路板废品率。对于通孔电路板，铜膜线间距一般大于等于 10mil。
4. 接地：铜膜线的公共地线，应该尽可能放在电路板的边缘部分，在电路板上应该尽可能保留铜箔作为地线，以增加电路的抗干扰能力。地线的形状最好做成环形或网格状，多层电路板由于采用内层做电源和地线的专用层，因而可以起到更好的屏蔽效果。
5. 总是将铜膜线与焊盘中心连接。
6. 对于用过孔连接的大电流线，应放置多个过孔，以减小电阻。

5.4.4 抗干扰设计原则

1. 接地：通常在一个电子系统中的地线可以分为系统地、机壳地(屏蔽地)、数字地、模拟地等，连接地线时应该注意以下几点：
 - 1) 正确选择单点接地和多点接地。对于低频电路，通常采用单点接地；
 - 2) 将数字地和模拟地分开；
 - 3) 尽可能加粗地线宽度；
 - 4) 同一级电路的接地线应该尽可能靠近；
 - 5) 使用铺铜地线可以显著提高系统的抗干扰能力。
2. 选用时钟频率低的微控制器：只要控制器性能满足产品的功能要求，其时钟频率越低越好。频率较低的时钟可以有效降低噪声和提高系统的抗干扰能力。
3. 减小来自电源的噪声：电源在向系统供电时，也将噪声加到系统中。系统中的复位、中断等信号最容易受到外界噪声的干扰。增加电容可以滤掉来自电源的噪声。使用开关电源可能引起噪声，在有开关电源的电路中，应该在电源输出端串联扼流环，并联 10 μ F 电容，并在所有芯片的电源引脚并联去耦电容^[6]。
4. 元件布局要合理：元件在电路板上排列的位置要充分考虑抗干扰问题。各个元件之间的铜膜线要短，将模拟电路、数字电路和产生大噪声的电

路分开。

5. 增加去耦电容：去耦电容以瓷片电容或多层陶瓷电容的高频特性较好。设计电路板时，每个集成电路的电源和地线引脚之间都要加一个去耦电容。去耦电容有两个作用：一是集成电路的蓄能电容，提供和吸收该集成电路开门和关门瞬间的充放电能量；二是旁路掉该器件产生的高频噪声。数字电路中典型的去耦电容为 $0.1 \mu\text{F}$ 。去耦电容应尽可能靠近电源引脚。
6. 数字集成电路的无用引脚应根据该元件的数据手册进行处理。闲置的运算放大器可以接成电压跟随器电路，同相输入端可以接地。
7. 高频电路布线：
 - 1) 合理选择电路板层数，利用中间的内层平面作为电源和地线层，可以起到屏蔽作用。通常情况下，四层板比双层板的噪声低 20dB；
 - 2) 走线方式必须采用 45° 转角，这样可以减少高频信号的发射和相互耦合；
 - 3) 对重要的信号线进行包地处理，可以显著提高该电路的抗干扰能力。
 - 4) 高频扼流：数字地、模拟地等接往公共地线时要接高频扼流器件，通常可以选择磁珠^[6]。

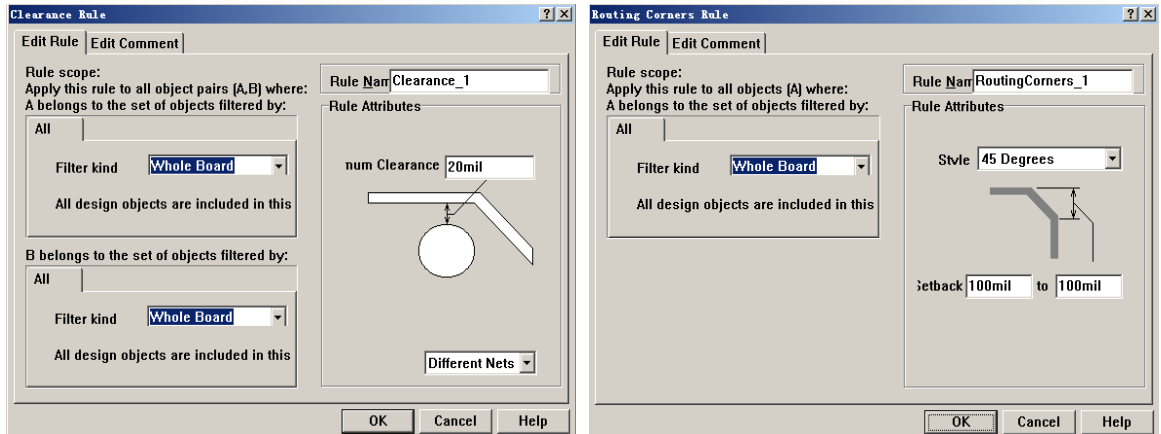
5.5 电路板布局

根据上一节所述的电路板布局原则，将实验板的主要元件进行了布局，实验板按该布局进行布线时，发现实验板元件布置零乱，有部分面积没有充分利用，造成浪费，增加了制作成本。经过调整，实验板模拟电路与电源部分距离较近，元件布局更加匀称、紧凑，电路板面积缩小，节约了制板费用。

5.6 电路板布线

经过元件布局，就可以对电路板布线。本实验板采用自动布线与人工干预相结合的布线方法。在使用 Protel99SE 的自动布线功能前，可以根据电路板的性能要求，在 Design/Rule 中设定一些设计规则。常用的设计规则有：

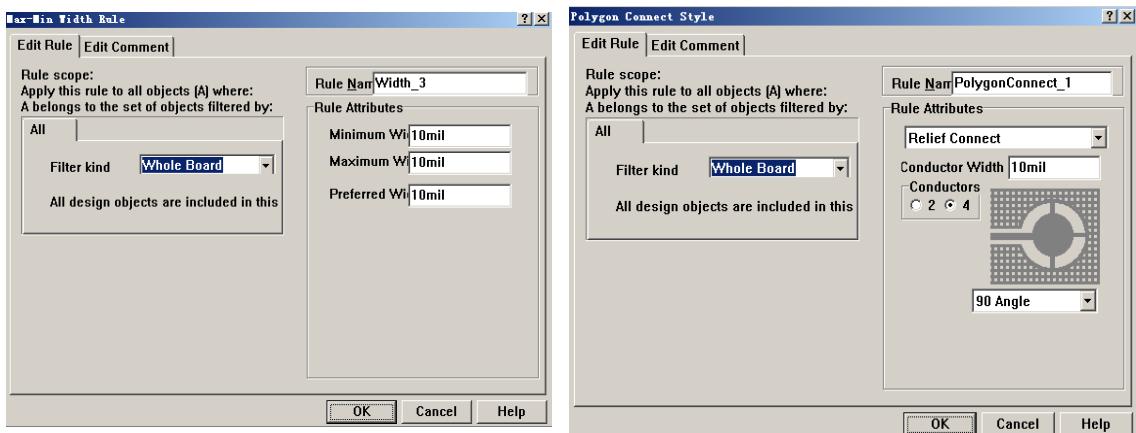
1. 安全间距(Clearance Constraint)：如图 4-7(a)所示，用于设定 Track、Via 和 Pad 自身和两两之间的最小距离，通常默认为 20mil；
- 走线转角方式(Routing Corners)：如图 4-7(b)所示，用于设定铜膜线的转角方式，默认的转角方式为 45° ，转角长度分别为 100mil；



(a) 安全间距

(b) 走线转角方式

图 4-7 常用设计规则（一）示意图



(a) 铜膜线宽度

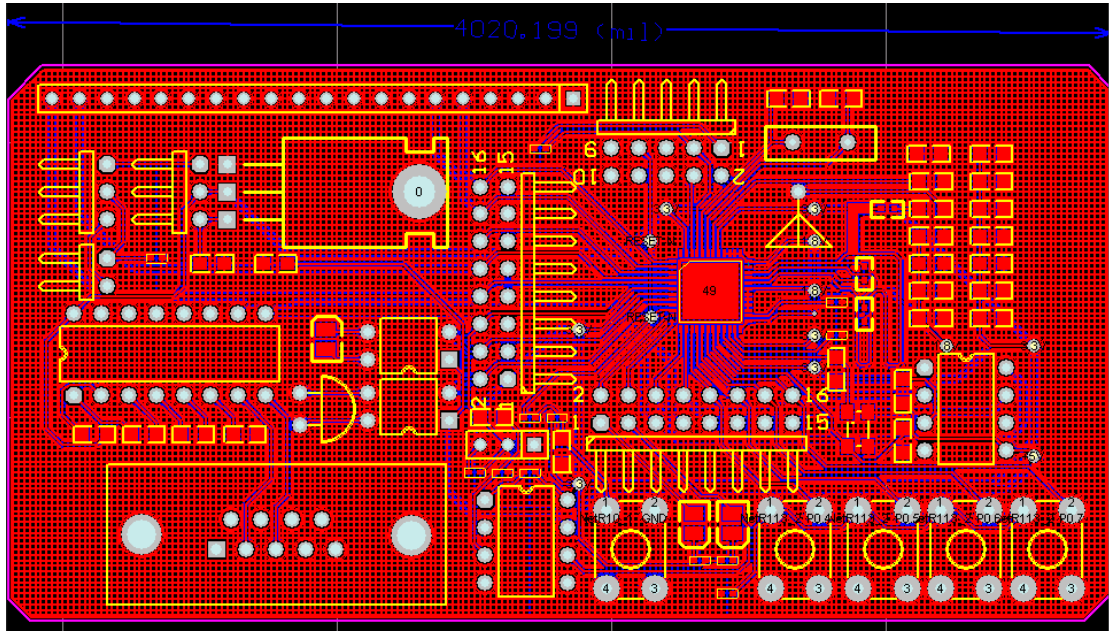
(b) 铺铜连接方式

图 4-8 常用设计规则（二）示意图

2. 铜膜线宽度(Width Constraint): 如图 4-8(a)所示, 设定铜膜线的宽度, 利用该规则可以方便的将电源线和地线加宽;
3. 铺铜连接方式(Polygon Connect Style): 如图 4-8(b)所示, 可以设定铺铜与焊盘的连接方式(2 根线或 4 根线)、连接宽度。

实验板设置的设计规则内容为:

1. 安全间距: 使用默认值 20mi, 使用范围为整板;
 2. 走线转角方式: 使用默认值, 转角方式 45° , 缺省转角长度 100mil;
 3. 铜膜线宽度: 信号线 10mil、20mil, 电源线 50mil;
 4. 铺铜连接方式: 连接线数目: 4 条, 连接线宽: 10mil, 连接线角度: 90 度。
4. 设置完设计规则后, 便可以在 Auto Route/Setup 菜单中进行自动布线操作。自动布线完成后, 需要对电路板的各个部分进行人工修改, 最后进行地线的铺铜操作。铺铜采用实体铺铜, 圆形环绕焊盘方式电路板最终布局如图所示。



5.7 硬件调试

电路板设计完成后，就可以把相应的电路板文件送给制作厂商，制作好的电路板如图 5-1 所示。收到电路板后，应细致检查电路板有无制作缺陷，若电路板正确无误，才能进行焊接，焊接完成的实验板见附录III。在软件设计前，应该对实验板进行必要的硬件调试，检查硬件是否有短路、断路、虚焊等缺陷，避免对软件设计造成影响。



第六章 软件程序设计

6.1 设计思想

首先由温度传感器对温度信号进行采样，随后经过前端放大、整形滤波等处理后传给 A/D 转换器进行处理，A/D 转后将数字信号后传送给单片机进行数据处理并显示。

系统采用了 CC2430 为主处理芯片。通过传感器采集到温度信号，通过片内 A/D 转换芯片将电压信号转换为数字信号，后经单片机内部软件计算处理得出温度值。

在温度作用下，作用于温度传感器，使其热敏电阻阻值发生改变，使应变桥阻抗失去平衡，输出与温度数值成比例的电信号，经 A/D 转换成数字信号，再由的微处理器对温度信号进行处理后显示出温度值等数据。通过无线或串行通讯接口将温度信号送出

工作时序图如图 2.2 所示，W 轴为温度轴，t 为时间轴，工作开始后，在 A 点进行调零处理，B-C 段为动态采样过程。当温度达到设定值后，C-D 段为等待稳定过程。D 点进行静态采样。当测到设定温度值后，收到指示在 E 点进行报警。

温度公式为

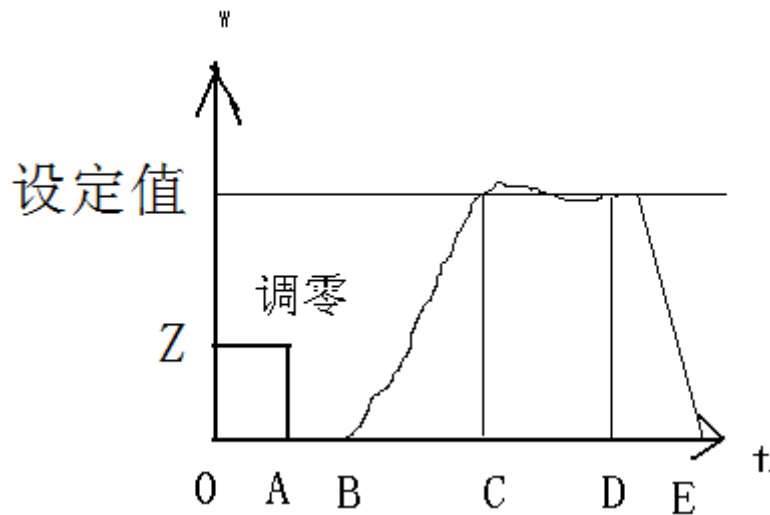


图 2.2 工作时序图

该次设计的温度公式为： $w = (f - z) * k$

6.2 主程序流程图

该次程序设计整体流程图：

6.3 数据处理模块及其流程框图

6.3.1 调零

上电后第一次称量前，应检查称重网络终端。称重显示“0”才可用，否则应进行调零。调零是在未进料前进行的。当未进料时，在称量状态下面的重量显示器应显示“0”，否则应进行调零。在料斗内没有任何物体时，操作人员在称量状态下按【调零】键，系统进行自动调零，调零结束后，并自动进入动态称量状态。如果不能正常调零或零点值无变化，则可能料斗内有物料，否则说明调零限幅值太小。调零过程实际上是把零点记下的过程。无料时 $f=z$ 。调零程序 $z=AD$

零点值在以下范围可调零：重量采样值 > 零点值 + 调零限幅

调零程序模块如下：

```
int zero_0;
void zero(void)
{
    zero_0=ad_sum;
}
```



图 2.5 调零流程框图

6.3.2 标定

标定就是用已知重量的标准砝码对料斗秤进行校准，使之达到要求的准确度。

- 1) 标定前首先应确定称量范围。
- 2) 标定前进行一次调零，以保证零点的准确性。
- 3) 标定时将一定重量的标准砝码加载到料斗上。改变 k 值，使称量显示实际值。

标定模块程序如下：

```

int, zero_0, k_0, f0;
void ak(void)
{
    k_0=f0*10000./(float)(ad_sum-zero_0);
}

```

其中 zero_0 见调零部分。

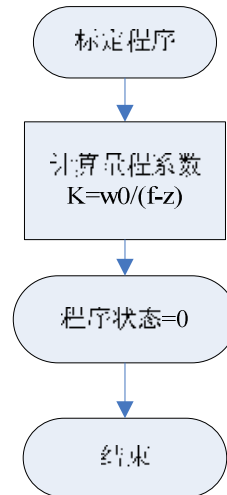


图 2.6 标定流程框图

6.3.3 称量

上电自检后自动进入称量状态，称量指示灯为红色；如在零位调零指示灯绿灯亮；无论在什么状态下，只要按下【称量】键，立即结束当前操作进入称量状态。

称量模块程序如下：

```

int ad_count,ad_sum,zero_0,k_0,f0,w;
int ad_0[100];
void weight(void)
{
    // ad_0=ADC_Read(4);
    // uprintf("AD=%d ",ad_0);
    if(ad_count>=100)
    {
        ad_count=0;
        ad_sum=0;
        for(int i=0;i<100;i++)
        {
            ad_sum+=ad_0[i];
            uprintf("%d\r\n",i);

            // ad_sum=ad_sum+ad_0[i];
        }
    }
}

```

```

    ad_sum/=100;
    uprintf("%d\r\n",ad_sum);
}
}
void me(void)
{
    w=k_0*(float)(ad_sum-zero_0)/10000.;
    uprintf("%d\r\n",ad_sum);
}

```

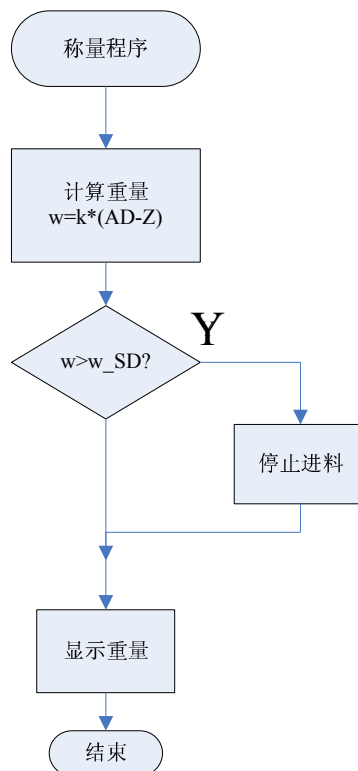


图 2.7 称量流程框图

6.4 键处理模块

键处理实际是指对功能键的处理，比如这里当键盘输入“0”时经过判断后进入称量状态随后清除数字键标志，同样“1”为调零转台，“2”为标定状态，“3”为数字键处理状态。当进入数字键处理状态时，清除数字键标志后，键盘输入数字并显示，输入第二个数字时，第一个数字进位并与第二个数字相加显示

6.4.1 键处理模块流程图

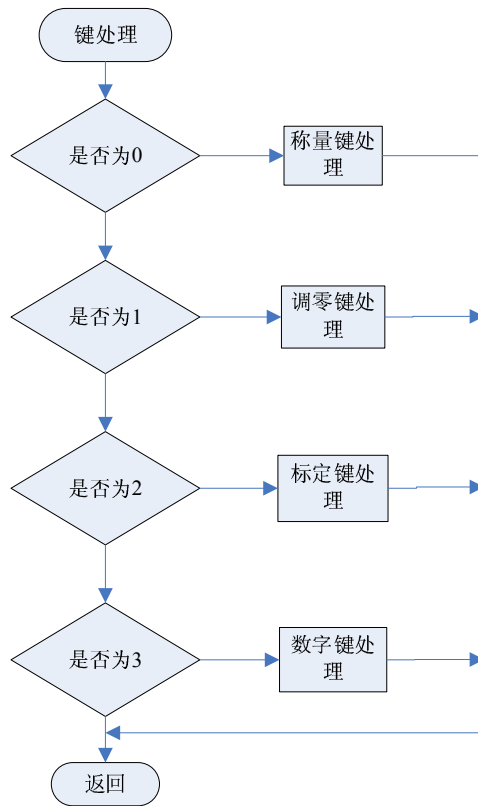


图 2.8 键处理整体流程图

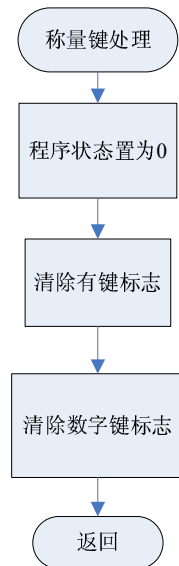


图 2.9 称量键处理流程图

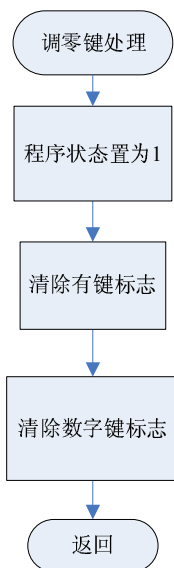


图 2.10 调零键处理流程图

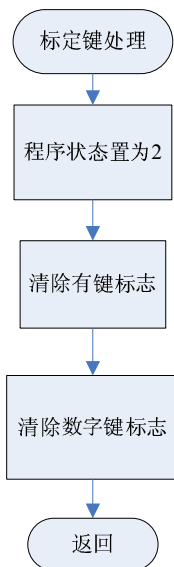


图 2.11 标定键处理流程图

6.4.2 键处理程序

```

#include "project.h"
int che_now;
int input_num;
int nn;
int delay_time=150;//150
unsigned int key_number; //获得按键值
unsigned char numkey_count;
unsigned int key_havemark;
unsigned int havenumkey;//按键显示寄存器有值标识
  
```

```

unsigned char a7281_use_mark=0;

void init_7281()
{
    send_byte(0x10);
    send_byte(0xff);
    send_byte(0x12);
    send_byte(0x80);
}

unsigned char read728X(unsigned char reg_add)
{
    send_byte(reg_add|0x80);
    return(receive_byte());
}

void send_byte(unsigned char send_byte)
{
    unsigned char bit_counter;
    int timer=0;
    timer=0;
    AT91F_PIO_CfgInput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA30); //配置 PA23 为输
入口
    do
    {
        AT91F_PIO_ClearOutput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA2); //PA22=0
        delay(delay_time);
        AT91F_PIO_SetOutput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA2); //PA22=1
        delay(delay_time);
    } while((AT91F_PIO_GetInput(AT91C_BASE_PIOA) & AT91C_PIO_PA30) &&
(timer++ <8)); //判断 PA23 等待低电平

    AT91F_PIO_ClearOutput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA2); //PA22=0
    delay(delay_time);
    AT91F_PIO_SetOutput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA2); //PA22=1
    delay(delay_time);
    timer=0;
    while((!(AT91F_PIO_GetInput(AT91C_BASE_PIOA) & AT91C_PIO_PA30))&&
(timer++ <8)); //判断 PA23 //等待高点平为接受状态

    AT91F_PIO_CfgOutput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA30); //配置 PA23 为输
出口

```

```

for(bit_counter=0;bit_counter<8;bit_counter++)
{
    if((send_byte&0x80)==0)
    {
        AT91F_PIO_ClearOutput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA30); //PA23=0
    }
    else
    {
        AT91F_PIO_SetOutput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA30); //PA23=1
    }
    send_byte <<=1;
    AT91F_PIO_ClearOutput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA2); //PA22=0
    delay(delay_time);
    AT91F_PIO_SetOutput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA2); //PA22=1
    delay(delay_time);
}
AT91F_PIO_CfgInput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA30); //配置 PA23 为输
入口
    delay(delay_time*8);
}

```

```

void delay(unsigned int time)
{
    while(time>0)
    {
        time--;
    }
}

```

```

void chengliang_handling(void) //“称量”键处理
{
    program_status=0;
    numkey_count=0;
    havenumkey=0;
    display_int(4, para_c[21]+1); //显示当前重量
}

```

```

void tiaoling_handling(void) //“调零”键处理
{
    if (havenumkey && input_num==111&&program_status==0)
    {
        program_status=1;
        display_int(8, para_c[1]);
    }
}

```

```

        display_int(4, 0);
    }
    havenumkey=0;
    numkey_count=0;
}

void biaoding_handling(void)///"标定"键处理
{
    if (havenumkey && input_num==222&&program_status==0)
    {
        program_status=2;
        display_int(8, para_c[2]);
        display_int(4, para_c[5]);
    }
    havenumkey=0;
    numkey_count=0;
}

void canshu_handling(void)
{
    if(program_status==0)///从称量状态进入
    {
        program_status=5;
    }
}

void qingchu_handling(void)///清除键处理
{
    if(havenumkey && numkey_count>0)///按键显示寄存器有值
    {
        input_num=input_num/10;
        numkey_count--;
        display_int(8, input_num);
    }else
    if(program_status==0 && (numkey_count==0 || havenumkey==0))
    {
        para_c[45]=0;
        display_int(8, 0);
    }
}

void key_handling(unsigned char key_valu) //按键处理程序 key_valu 为
所的到的键值
{

```



```

unsigned char key_media;
key_havemark=FALSE;
switch (key_valu) //判断键值所对应的面板数字或功能
{
    case 0x08: key_media=1; break; //
    case 0x00: key_media=2; break; //
    case 0x19: key_media=3; break; //
    case 0x01: key_media=4; break; //
    case 0x1a: key_media=5; break; //
    case 0x12: key_media=6; break; //
    case 0x1b: key_media=7; break; //
    case 0x13: key_media=8; break; //
    case 0x0b: key_media=9; break; //
    case 0x0c: key_media=0; break; //
    case 0x18: key_media=10; break; //称量
    case 0x10: key_media=11; break; //调零
    case 0x11: key_media=12; break; //挂码
    case 0x09: key_media=13; break; //功能(参数)
    case 0x0a: key_media=14; break; //打印
    case 0x03: key_media=15; break; //清零
    case 0x14: key_media=16; break; //清除
    case 0x04: key_media=17; break; //确定
    case 0x02: key_media=18; break; //上
    case 0x1c: key_media=19; break; //下
    default: break;
}

if (key_media<10) //输入的为数字键(显示数字到面板)
{
    if (!havenumkey || numkey_count>=8) //如果数字位数>=8
    {
        havenumkey=1;
        input_num=key_media;
        numkey_count=1; //输出数组计数
    }
    else //如果数字位数<8
    {
        input_num=input_num*10+key_media;
        numkey_count++; //输出数组计数
    }
    display_int(8, input_num);
}
else //输入的为功能键
{

```

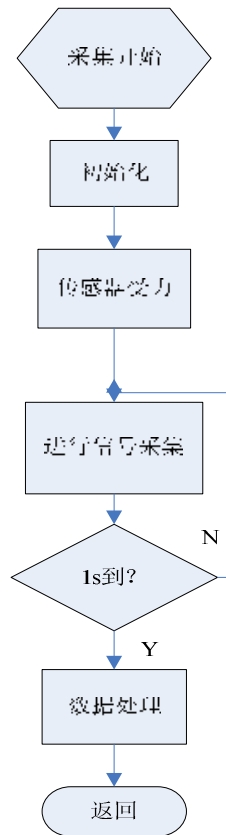
```
key_media=key_media-10;
if (key_media>9) key_media=0;
switch (key_media)
{
    case 0: chengliang_handling(); break;//称量
    case 1: tiaoling_handling(); break;//调零
    case 2: biaoding_handling();break;//标定
    case 3: canshu_handling() ;break;//参数(功能键)
    case 4: qingchu_handling() ;break;//清除键处理
    case 5: queren_handling() ;break;//确认键处理
    case 6: xiangshang_handling() ;break;//向上键处理
    case 7: xiangxia_handling() ;break;//向下键处理
    default: break;
}
}
```

6.5 数据采集模块

6.5.1 信号采集简介

微机应用在工业生产过程中的控制有多种多样,对现场传感器的信号进行采集与处理是最常见的,传感器的信号主要有模拟信号和脉冲信号两种。本次采集模拟信号接口由 A/D 转换器和多路开关等电路组成数据采集板,此采集板可接受 0-10mV 电压信号。在采集过程中可能将现场的干扰信息采集进来,这就需要数据抗干扰处理,经过滤波放大处理,可得到精确的 A/D 转换数据。信号 1s 刷新一次,实施定时中断。

6.5.2 信号采集流程图



4.5.3 信号采集模块程序

```
void fifty_ms_handling()
{
    if (fs_time!=0)
    {
        timer_count1=(timer_count1+1) % (fs_time/50);
        if (timer_count1==0) fssj_mark=1;
    }
    fifty_ms_arrived=0;
    if (warning_mark==true)
    {
        if (warning_time>=10)
        {
            warning_mark=false;
            warning_time=0;
            fmq=1;
        }
    }
}
```

```

        else
        {
            fmq=0;
            warning_time++;
        }
    }
}
unsigned char time_1,time_2,time_3;

void int_time(void) interrupt 1
{
    TL0=0xb0;
    TH0=0x3c;
    time_1++;
    time_2++;
    time_3++;
    if (time_3>=2) {time_3=0; fifty_ms_arrived=1;}
    if (time_1>=40)
        {time_1=0;
        second_arrived=1;
        }
    if (time_2>=40/2)
        {time_2=0;
        control_mark=1;
        }
    if(fmq_mark!=0)
        {
            if(fmq_mark>=3) {fmq_mark=0; fmq=1;}
            else fmq_mark++;
        }
}

unsigned char key_number;
void int_key(void) interrupt 0
{
    key_havemark=true;
    key_number=read728x(0x13);
    fmq=0;
    fmq_mark++;
}

```

6.6 数据处理

6.6.1 算法

本次设计在调零阶段，也就是记录零点的过程，记录值为 AD ，则零点 $z = AD$ ，实际上无料时的测量值 $f = z$ ，标定阶段将料斗内放入重量已知的砝码，不断改变系数 k ，使称量显示的数值为砝码的重量随后由 $k = w_0 / (f - z)$ 得到 k 值。

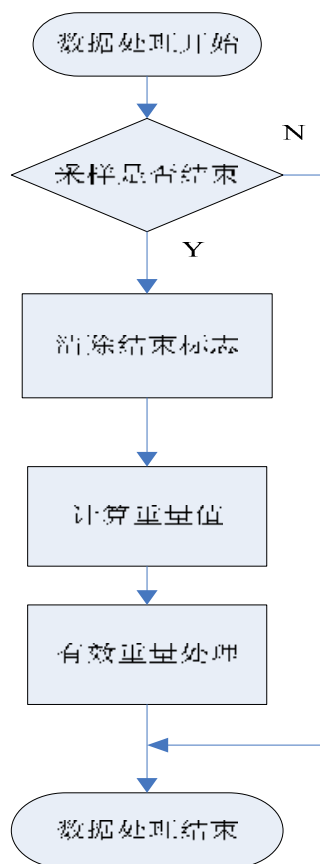
测量时的重量公式为： $w = (f - z) * k$

该设计中数据处理采用的是算术平均值法滤波。在 1s 内送料的过程中分别采集 N 个数据信号，对这 N 个数据进行数据处理。在一个周期内的不同时间点取样，然后求其平均值，这种方法可以有效的消除周期性的干扰。

公式为

$$Y_k = (X_{k1} + X_{k2} + X_{k3} + \dots + X_{kN}) / N$$

6.6.2 流程图



6.6.3 数据处理模块程序

```
void me(void)
{
    w=k_0*(float)(ad_sum-zero_0)/10000.;
    uprintf("%d\r\n",ad_sum); }
```

6.7 数据发送

6.7.1 信号发送简介:

系统把经单片机处理后的数据经过 zigbee 发送。。信号 1s 刷新一次，实施定时中断。

```
void aplFmtSendMSG (BYTE dstMode,
                    LADDR_UI} IION *dstADDR,
                    BYTE dstEP,
                    BYTE cluster,
                    BYTE srcEP,
                    BYTE* pload,
                    BYTE plen,,
                    BYTE tsn,,
                    BYTE reqack);
```

BYTE dstMode:数据发送的地址模式。当为 1 时，以 16 位的网络地址发送数据;当为 2 时，以 64 位的物理地址发送数据。

LADDR_UNION *dstADDR:发送数据的地址。可以为 16 位的网络地址，也可以是 64 位的物理地址。

BYTE dstEP:目的地终点。

BYTE cluster:串状态标示符。

BYTE srcEP:来源终点。

BYTE* pload:本帧发送的数据。

BYTE plen:发送数据的长度。

BYTE tsn 传输序列号。

总 结

四个月以来,我在毕业设计和撰写论文的过程中获益颇丰,在此有必要进行总结,为将来的学习和工作留下宝贵的财富。在毕业设计过程中,我详细了解了称重检测和控制的知识、常用称重元件的特点、查阅了许多称重控制装置的资料。在之前学习的 MCS-51 系列单片机的基础上,我初步掌握了 CC2430 单片机各模块的内部结构、性能特点和设置方法,对设计中使用的 I/O 端口、定时/计数器、ADC、SPI 和 USART 等模块的编程有了一定的认识。在设计基于 ATmega16L 的温度控制系统时,我阅读了 CC2430 的相关资料,学习设计超重保护装置的总体方案、硬件原理图、PCB 板图,焊接、调试实验板,进行软件设计,最终实现了温度控制系统的设计要求。

本文详细论述了基于 CC2430 单片机的超限保护装置的设计和调试,其基本过程与一般电子产品开发过程相似。对于简单的电子产品开发,通常要经过以下几个步骤:

1. 明确产品的设计功能、使用环境以及有无特殊要求;
2. 进行设计前期准备,学习相关知识;
3. 根据设计要求,提出系统的总体方案;
4. 设计硬件原理图,并购买部分元件确定元件封装,必要时测定重要元件参数;
5. 根据原理图,设计 PCB 板;
6. 焊接、调试电路板;
7. 进行软件设计,实现产品的设计功能;
8. 进行必要的实验和检测,明确实验样机的性能。

本文设计的温度控制装置具有温度显示、温度值设定、温度报警、通过 RS232 接口向 PC 机传送数据等功能。为了防止数字电路和模拟电路相互干扰,实验板将二者分开布局,数字电源和模拟电源在系统电源输出端通过 1 个电感相连,防止二者相互干扰。数字电路和模拟电路采用一块大面积的铺铜地线,可以满足抗干扰要求。设计中,主要使用了 Protel99SE、CVAVR、ICCAVR、Ponyprog 等软件。

本文中的称重控制装置仍有很多缺点和不足,主要有以下几个方面:

1. RS232 接口与 PC 机通讯实现的功能较少,若能在 PC 机上画出称重实时曲线,并能设定相关参数,该温度控制装置的实用性会进一步提高。
2. 实验板布局和布线有不合理之处,电源扩展接口较少,外部扩展时稍有不便。设计电路板需要大量实践经验的积累,只有设计过大量的电路板后,才能熟练掌握设计原则。
3. 元件参数选择不合理之处,限制了实验板的使用。例如 AD623 增益设置范围有限。

本次毕业设计给我留下很多收获,在这期间阅读了大量的芯片数据手册和英文资料,掌握了一些电路板调试的基本方法,对设计中所使用元件的基本应用有一定了解。例如掌握了 TL431 基本稳压电路、AD620 共模信号与输出电压的关系,MAX232 电平转换芯片等。在毕业设计过程中,我得到了老师的耐心指点和同学的热心帮助,并参考了大量的资料,在此表示感谢

致 谢

我在毕业设计和撰写论文期间，得到了在梁耀武教授全面、具体的指导。在此期间，梁老师在百忙之中帮助学生分析设计题目的要点、点明设计思路，使学生学习到大量的实际知识并得到一些人生的启示。梁老师渊博的学识、丰富的实际经验、平易近人的教学方法使学生受益非浅，并终生难忘。感谢梁耀武教授在毕业设计过程中给予的宝贵帮助。与此同时，作者还得到诸多同学的热心帮助和关心，并参考了大量的资料，在此一并表示谢意。

参考文献

- 1 中国大百科全书（在线版）.北京：中国大百科全书出版社，2009
- 2 徐科军. 传感器与检测技术. 北京：电子工业出版社，2007. 172~174
- 3 吴为民，王仁丽. 温度控制系统的发展概况，工业炉，2005（2）：18~20
- 4 方康玲. 过程控制系统. 武汉：武汉理工大学出版社，2007. 234~258
- 5 夏路易. 基于EDA的电子技术课程设计. 北京：电子工业出版社，2009
- 6 夏路易. Protel99SE 画电路原理图与电路板图. 太原理工大学信息工程学院自动化系，2007. 8
- 7 夏路易. ATmega16 单片机入门. 太原理工大学信息工程学院自动化系，2007
- 8 夏路易. 单片机技术基础教程与实践. 北京：电子工业出版社，2008. 1
- 9 马潮. AVR 单片机嵌入式系统原理与应用实践. 北京：北京航空航天大学出版社，2007
- 10 耿德根等. AVR 高速嵌入式单片机原理与应用. 北京：北航出版社，2000. 12
- 11 华成英，童诗白. 模拟电子技术基础（第四版）. 北京：高等教育出版社，2006
- 12 阎石. 数字电子技术基础（第五版）. 北京：高等教育出版社，2006
- 13 Walt Jung. Op Amp Applications Handbook. <http://www.analog.com>
- 14 Charles Kitchin, Lew Counts. A DESIGNER'S GUIDE TO INSTRUMENTATION AMPLIFIERS. <http://www.analog.com>
- 15 ATMEL. ATmega16 Data Book. <http://www.atmel.com>
- 16 ATMEL. AVR Application Notes. <http://www.atmel.com>
- 17 Analog Devices Inc. AD623 Datasheet. <http://www.analog.com>
- 18 Texas Instruments Inc. TL431a Datasheet. <http://www.ti.com>
- 19 Motorola Inc. MOC3063 Datasheet. <http://www.motorola.com>
- 20 MAXIM. MAX232 Datasheet. <http://www.maxim-ic.com/>
- 21 AVR 单片机 CVAVR 程序设计. <http://www.ouravr.com>
- 22 http://www.waveshare.net/shop/A_D620AN.html
- 23 <http://www.docin.com/p-57712573.html>
- 24 <http://www.jzdlcd.cn/index1.htm>
- 25 宁波柯力传感器制造有限公司《传感器说明书》
- 26 元器件手册
- 27 电路图、印刷电路计算机辅助设计软件手册
- 28 相关教材。

附录 I 部分英文参考资料及译文

13.3 16-bit Timer, Timer1

Timer 1 is an independent 16-bit timer which supports typical timer/counter functions such as input capture, output compare and PWM functions. The timer has three independent capture/compare channels. The timer uses one I/O pin per channel. The timer is used for a wide range of control and measurement applications and the availability of up/down count mode with three channels will for example allow implementation of motor control applications.

The features of Timer 1 are as follows:

- Three capture/compare channels
- Rising, falling or any edge input capture
- Set, clear or toggle output compare
- Free-running, modulo or up/down counter operation
- Clock prescaler for divide by 1, 8, 32 or 128
- Interrupt request generated on each capture/compare and terminal count
- Capture can be triggered by radio
- DMA trigger function

13.3.1 16-bit Timer Counter

The timer consists of a 16-bit counter that increments or decrements at each active clock edge. The period of the active clock edges is defined by the register bits CLKCON.TICKSPD which sets the global division of the system clock giving a variable clock tick frequency from 0.25 MHz to 32 MHz. This is further divided in Timer 1 by the prescaler value set by T1CTL.DIV. This prescaler value can be from 1 to 128. Thus the lowest clock frequency used by Timer 1 is 1953.125 Hz and the highest is 32 MHz when the 32 MHz crystal oscillator is used as system clock source. When the 16 MHz RC oscillator is used as system clock source then the highest clock frequency used by Timer 1 is 16 MHz. The counter operates as either a free-running counter, a modulo counter or as an up/down counter for use in centre-aligned PWM. It is possible to read the 16-bit counter value through the two 8-bit SFRs; T1CNTH and T1CNTL containing the high-order byte and low-order byte respectively. When the T1CNTL is read, the high-order byte of the counter at that instant is buffered in T1CNTH so that the high-order byte can be read from T1CNTH.

Thus T1CNTL shall always be read first before reading T1CNTH. All write accesses to the T1CNTL register will reset the 16-bit counter. The counter produces an interrupt request when the terminal count value (overflow) is reached. It is possible to clear and halt the counter with T1CTL control register settings. The counter is started when a value other than 00 is written to T1CTL.MODE. If 00 is written to T1CTL.MODE the counter halts at its present value.

13.3.2 Timer 1 Operation

In general the control register T1CTL is used to control the timer operation. The

various modes of operation are described below.

13.3.3 Free-running Mode

In the free-running mode of operation the counter starts from 0x0000 and increments at each active clock edge. When the counter reaches 0xFFFF the counter is loaded with 0x0000 and continues incrementing its value as shown in [Figure 19](#). When the terminal count value 0xFFFF is reached, the flag TIMCTL.OVFIF is set. An interrupt request is generated if the corresponding interrupt mask bit TIMIF.OVFIM is set. The free-running mode can be used to generate independent time intervals and output signal frequencies.

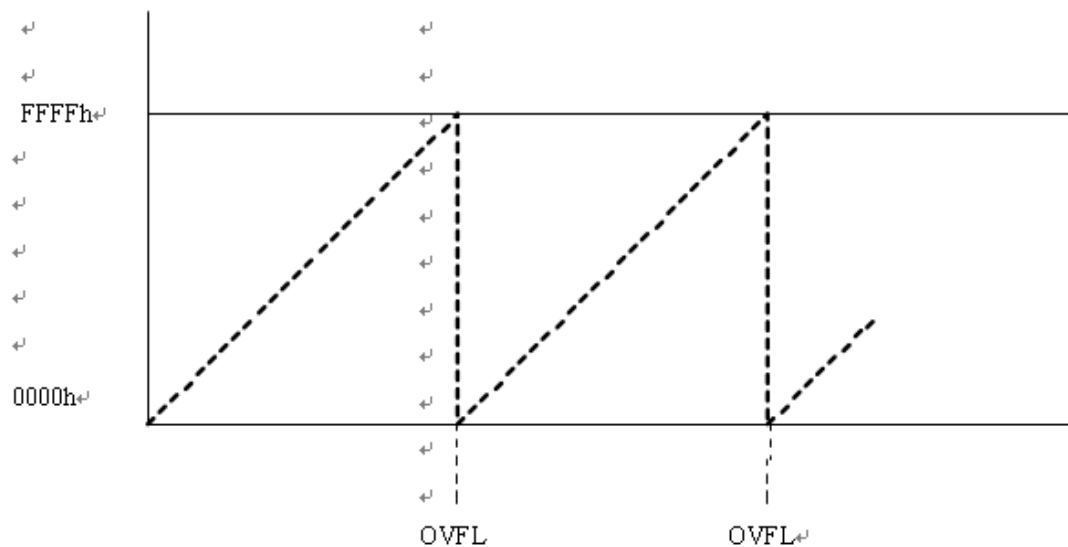


Figure 19: Free-running mode

13.3.4 Modulo Mode

When the timer operates in modulo mode the 16-bit counter starts at 0x0000 and increments at each active clock edge. When the counter reaches the terminal count value held in registers T1CC0H:T1CC0L, the counter is reset to 0x0000 and continues to increment. The flag TIMCTL.OVFIF is set when the terminal count value is reached. An interrupt request is generated if the corresponding interrupt mask bit TIMIF.OVFIM is set. The modulo mode can be used for applications where a period other than 0xFFFF is required. The counter operation is shown in [Figure 20](#).

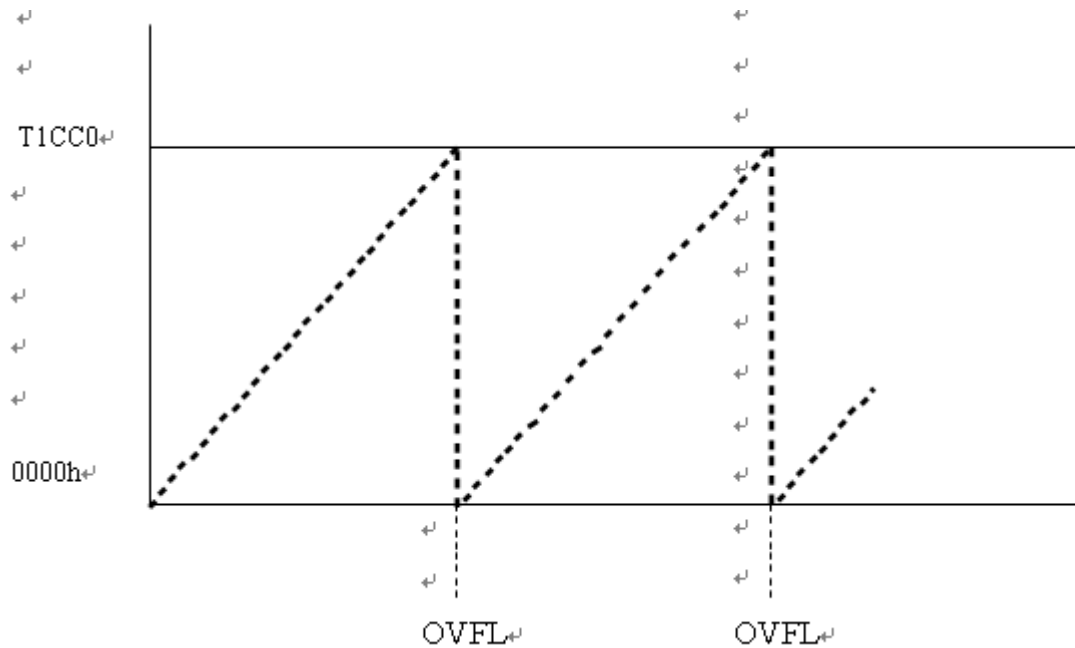


Figure 20: Modulo mode

13.3.5 Up/down Mode

In the up/down timer mode, the counter repeatedly starts from 0x0000 and counts up until the value held in T1CC0H:T1CC0L is reached and then the counter counts down until 0x0000 is reached as shown in [Figure 21](#). This timer mode is used when symmetrical output pulses are required with a period other than 0xFFFF, and therefore allows implementation of centre-aligned PWM output applications. Clearing the counter by writing to T1CNTL will also reset the count direction to the count up from 0x0000 mode.

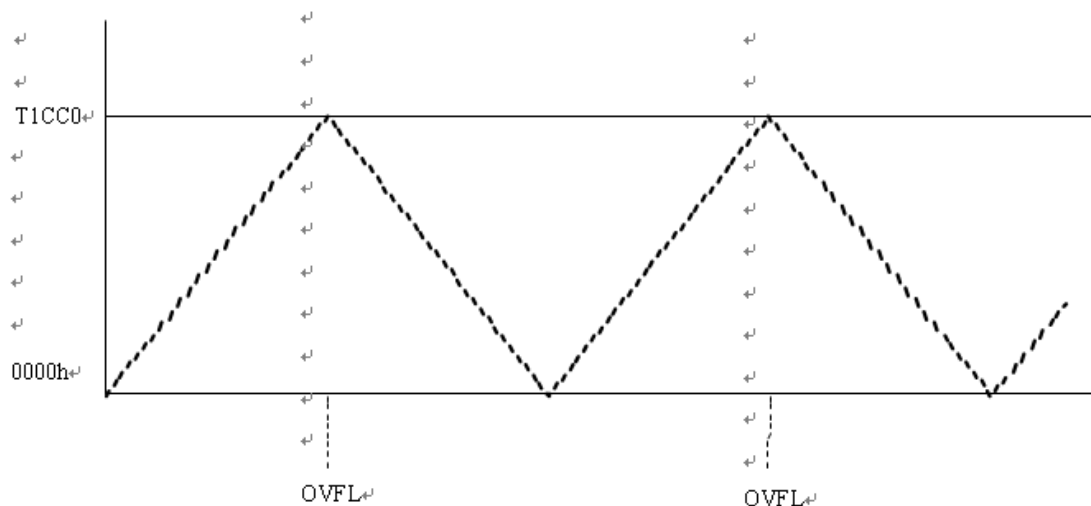


Figure 21 : Up/down mode

13.3.6 Channel Mode Control

The channel mode is set with each channel's control and status register T1CCTLn. These settings include input capture and output compare modes.

13.3.7 Input Capture Mode

When a channel is configured as an input capture channel, the I/O pin associated with

that channel, is configured as an input. After the timer has been started, a rising edge, falling edge or any edge on the input pin will trigger a capture of the 16-bit counter contents into the associated capture register. Thus the timer is able to capture the time when an external event takes place. Note: before an input/output pin can be used by the timer, the required I/O pin must be configured as a Timer 1 peripheral pin as described in section [13.1.3 on page 69](#). The channel input pin is synchronized to the internal system clock. Thus pulses on the input pin must have a minimum duration greater than the system clock period. The contents of the 16-bit capture register is read out from registers T1CCnH:T1CCnL. When the capture takes place the interrupt flag for the channel is set. This bit is T1CTL.CH0IF for channel 0, T1CTL.CH1IF for channel 1, and T1CTL.CH2IF for channel 2. An interrupt request is generated if the corresponding interrupt mask bit on T1CCTL0.IM, T1CCTL1.IM, or T1CCTL2.IM, respectively, is set.

13.3.8 RF Event Capture

Each timer channel may be configured so that an RF interrupt event will trigger a capture instead of the normal input pin capture. This function is selected with the register bit T1CCTLx.CPSEL, which selects to use either the input pin or the RF interrupt as capture event. When RF is selected as capture input, the interrupt source(s) enabled by RFIM (see section [14.4.1 on page 163](#)) will trigger a capture. In this way the timer can be used to capture a value when e.g. a start of frame delimiter (SFD) is detected.

13.3.9 Output Compare Mode In output compare mode the I/O pin associated with a channel is set to an output. After the timer has been started, the contents of the counter is compared with the contents of the channel compare register T1CCnH:T1CCnL. If the compare register equals the counter contents, the output pin is set, reset or toggled according to the compare output mode setting of

T1CCTLn.CMP. Note that all edges on output pins are glitch-free when operating in any given output compare mode. Writing to the compare register T1CCnL is buffered so that a value written to T1CCnL does not take effect until the corresponding high order register, T1CCnH is written. For output compare modes 1-3, a new value written to the compare register T1CCnH:T1CCnL takes effect after three registers have been written. For other output compare modes the new value written to the compare register take effect when the timer reaches 0x0000. Note that channel 0 has fewer output compare modes because T1CC0H:T1CC0L has a special function in modes 6 and 7, meaning these modes would not be useful for channel 0. When a compare occurs, the interrupt flag for the channel is set. This bit is T1CTL.CH0IF for channel 0,

T1CTL.CH1IF for channel 1, and T1CTL.CH2IF for channel 2. An interrupt request is generated if the corresponding interrupt mask bit on T1CCTL0.IM,

T1CCTL1.IM, or T1CCTL2.IM, respectively, is set. Examples of output compare modes in various timer modes are given in the following figures.

T1CCTL1.IM, or T1CCTL2.IM, respectively, is set. Examples of output compare modes in various timer modes are given in the following figures.

Edge-aligned PWM output signals can be generated using the timer free-running mode and channels 1 and 2 in output compare mode 6 or 7 as shown in [Figure 22](#). The period of the PWM signal is determined by the setting T1CC0 and the duty cycle for the channel output is determined by T1CCn. The polarity of the PWM signal is

determined by whether output compare mode 6 or 7 is used. PWM output signals can also be generated using output compare modes 4 and 5 as shown in the same figure, or by using modulo mode as shown in [Figure 23](#). Using output compare mode 4 and 5 is preferred for simple PWM.

Centre-aligned PWM outputs can be generated when the timer up/down mode is selected. The channel output compare mode 4 or 5 is selected depending on required polarity

of the PWM signal. The period of the PWM signal is determined by $T1CC0$ and the duty cycle for the channel output is determined by $T1CCn$. The centre-aligned PWM mode is required by certain types of motor drive applications and typically less noise is produced than the edge-aligned PWM mode because the I/O pin transitions are not lined up on the same clock edge. In some types of applications, a defined delay or dead time is required between outputs. Typically this is required for outputs driving an H-bridge configuration to avoid uncontrolled cross-conduction in one side of the H-bridge. The delay or dead-time can be obtained in the PWM outputs by using $T1CCn$ as shown in the following: Assuming that channel 1 and channel 2 are used to drive the outputs using timer up/down mode and the channels use output compare modes 4 and 5 respectively, then the timer period (in Timer 1 clock periods) is: $T_P = T1CC0$ and the dead time, i.e. the time when both outputs are low, (in Timer 1 clock periods) is given by: $T_D = (T1CC1 - T1CC2) \times T1CC0$

13.3 16 位定时器，定时器 1

定时器 1 是一个独立的 16 位定时器，支持典型的定时器/计数器等功能作为输入捕捉，输出比较和 PWM 职能。计时器有三个独立的捕捉/比较通道。使用的计时器一个 I/O 引脚的每个通道。该定时器用于的控制和测量范围申请和提供上下数配备三个通道模式将用于例如允许执行电机控制申请。定时器 1 特点如下：

- 3 个捕捉/比较通道
- 上升，下降或输入任何优势捕获
- 设置，清除或切换输出比较
- 自由，或向上运行模/下反恐行动
- 时钟分频器为除以 1，8，32 或 128
- 产生中断请求在每个捕捉/比较和终端计数
- 可以触发捕获电台
- DMA 的触发功能

13.3.1 16 位定时器计数器

该定时器组成位计数器的 16 项增加或减少在每个有效时钟边缘。活跃的时钟边缘期定义的寄存器位 `CLKCON.TICKSPD` 其中规定系统的国际分工时钟提供一个可变频率的时钟滴答从 0.25 兆赫到 32 兆赫。这进一步在定时器 1 除以预分频值设置由 `T1CTL.DIV`。这种预分频值可从 1 到 128。因此，最低的时钟频率由定时器 1 使用的是 1953.125 赫兹和频率最高的是 32 时 32 MHz 晶振振荡器作为系统时钟源。当 16 MHz RC 振荡器用作系统时钟源则最高时钟由定时器 1 使用频率为 16 兆赫。

计数器既可作为自由运行计数器，计数器或模作为向上/向下柜台使用的中心对齐的 PWM。它可以读取 16 位计数器的值通过 2 个 8 位特殊功能寄存器；`T1CNTH` 和 `T1CNTL` 含有高字节和低位字节分别。当 `T1CNTL` 读取的高字节在柜台秩序这一瞬间被缓存在 `T1CNTH` 让高字节都可以读出 `T1CNTH`。因此，`T1CNTL` 应始终先读阅读 `T1CNTH`。所有的写访问的 `T1CNTL` 登记册复位的 16 位计数器。计数器产生一个中断请求当终端数量值（溢出）的达成。它可以清除和制止与 `T1CTL` 控制寄存器设置柜台。

启动计数器时以外的值 00 写入 `T1CTL.MODE`。如果 00 写入 `1CTL.MODE` 柜台暂停在目前值。

13.3.2 定时器 1 运行

一般来说，控制寄存器的使用 `T1CTL` 控制定时器运行。各种运作模式如下所述。

13.3.3 自由运行模式

在行动自由运行模式柜台始于从 `0x0000` 和增量每个活动时钟边沿。当计数器达到 `0xFFFF` 的计数器是装载 `0x0000`，并继续其价值递增如图 19。当终端 `0xFFFF` 的计数值达到的旗帜 `T1CTL.OVFIF` 设置。中断请求如果相应的产生中断屏蔽位 `TIMIF.OVFIM` 设置。自由运行模式可用于生成独立时间间隔和输出信号频率。

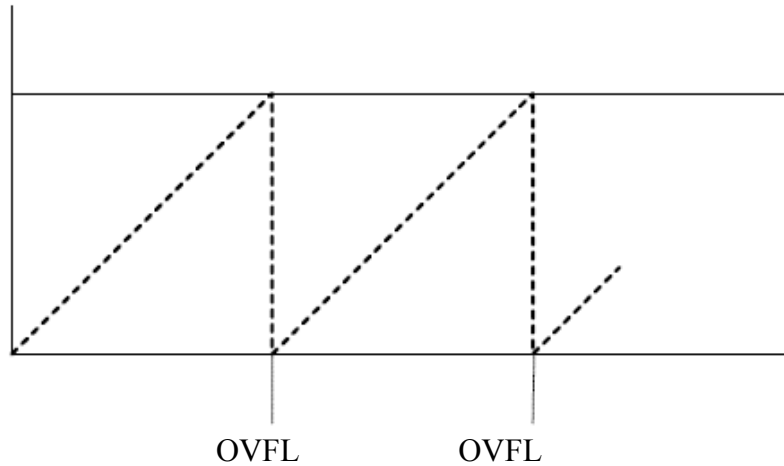
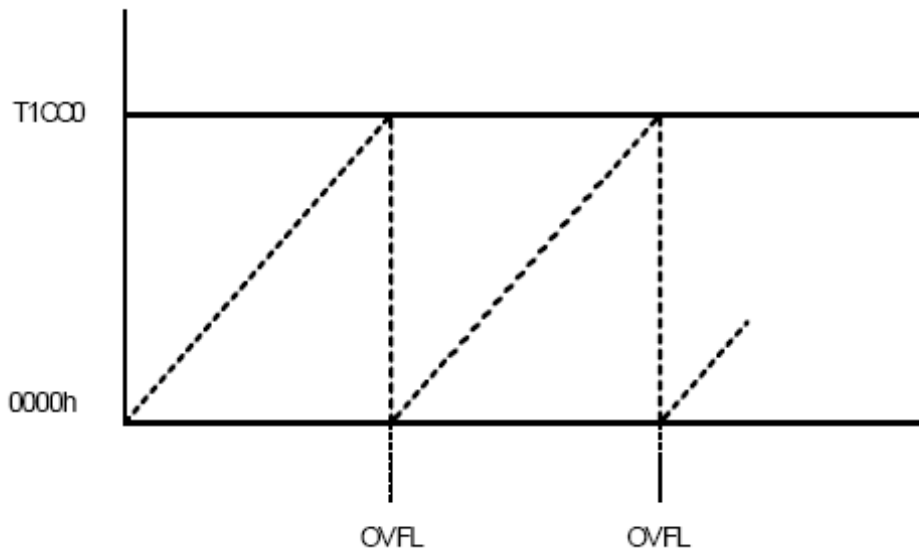


图 19：自由运行模式

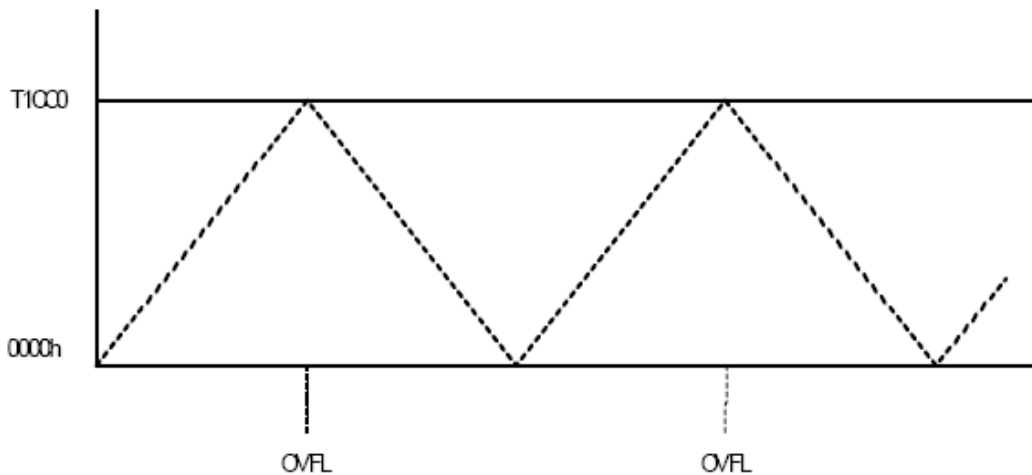
13.3.4 模模式

当计时器的运作模式在模 16 位计数器开始在 0x0000 和增量
 在每个活动时钟边沿。当计数器到达码头举行的计数值寄存器 T1CC0H：
 T1CC0L，计数器复位为 0x0000，并继续增加。该标志 T1CTL.OVFIF 时设置终
 端计数值达到。中断如果请求生成相应的中断屏蔽位 TIMIF.OVFIM 设置。那个
 模模式可用于申请其中一期其他然后 0xFFFF 的需要。计数器操作如图 20 所示。



13.3.5 上/下模式

在上/下定时器模式，计数器多次始于 0x0000 和计数直到 T1CC0H 举行的值：
 T1CC0L 是然后达成倒计时计数器直到 0x0000 达到如图 21 所示。此计时器模式
 时使用对称输出脉冲必须与其他时期比 0xFFFF 的，因此允许实施中心对齐的
 PWM 输申请。清除以书面 T1CNTL 计数器还重置计数的方向，向上计数从
 0x0000 模式。



13.3.6 通道模式控制

该频道模式设置每个通道的控制和状态寄存器 T1CCTLn。那个设置包括输入捕捉和输出比较模式。

13.3.7 输入捕捉模式

当通道被配置为输入捕获通道，I/O 引脚与

这一渠道，配置为输入。后计时器已经开始，一个上升沿，下降沿或任何输入引脚上的优势将引发 16 位计数器内容捕获到关联的捕捉寄存器。因此，定时器能够捕获的时刻外部事件发生。

注意：在输入/输出引脚可用于由计时器，所需的 I/O 引脚必须配置为定时器 1 作为外设引脚 13.1.3 在第 69 页所述。

通道的输入引脚同步到内部系统时钟。因此，在输入脉冲引脚必须有一个更大的最低期限不是系统时钟周期。该内容的 16 位捕捉寄存器读出寄存器 T1CCnH: T1CCnL。当捕捉发生的中断标志该频道设置。此位 T1CTL.CH0IF 通道 0, T1CTL.CH1IF 通道 1, 通道 T1CTL.CH2IF2。中断请求生成，如果对应的中断屏蔽位 T1CCTL0.IM, T1CCTL1。

13.3.8 射频事件捕获

每个定时器通道，可配置，以便射频中断事件将触发捕获而不是正常的输入引脚捕获。此功能与选择寄存器 T1CCTLx.CPSEL，它要么选择使用输入引脚或中断的射频捕获事件。当射频被选择为捕捉输入，中断源 (s) 由 RFIM 启用 (见第 163 页 14.4.1) 会触发捕获。这样，定时器可以用来捕获值时，例如一帧开始界符 (SFD) 是检测。

13.3.9 输出比较模式

在输出比较模式的 I/O 引脚相关与通道设置为输出。后定时器已经开始，在内容与计数器的内容渠道比较寄存器 T1CCnH: T1CCnL。如果在比较寄存器等于计数器内容，输出引脚设置，复位或切换根据比较输出模式设置对 T1CCTLn.CMP。请注意，所有的边缘上输出引脚无故障运行时 1 给定的输出比较模式。书面形式向比较寄存器 T1CCnL 是这样一个缓冲写入 T1CCnL 值不会生效直到相应的高阶登记，T1CCnH 写入。对于输出比较模式 1-3，一个新的值写入比较注册 T1CCnH: T1CCnL 时间后的效果登记册已被写入。对于其他输出比较模式的新值写入比较寄存器生效时，计时器达 0x0000。请注意，通道 0 输

出比较少了模式因为 T1CC0H: T1CC0

当一个比较发生时，中断标志的通道设置。此位 T1CTL.CH0IF 通道 0，T1CTL.CH1IF 通道 1，和 T1CTL.CH2IF 的通道 2。生成一个 interruptrequest 如果相应的中断 T1CCTL0.IM 屏蔽位，T1CCTL1.IM，或 T1CCTL2.IM 分别设置。输出比较模式的例子在各个定时器模式载于以下的数字。

边缘对齐 PWM 输出信号可使用定时器生成自由运行模式在输出通道 1 和 2 比较模式 6 或 7，如图 22。这一时期 PWM 信号是由设置 T1CC0，占空比为通道输出是由 T1CCn。的极性 PWM 信号取决于是否输出比较模式 6 或 7 使用。脉宽调制输出信号也可以使用生成输出比较模式 4 和 5 所示同样的数字，或使用模式如图 23。使用输出比较模式 4 和 5 是简单的 PWM 的首选。

中心对齐的 PWM 输出可计时器时产生向上/向下模式选定。该频道输出比较模式 4 或 5 条是根据需要选择极性 PWM 信号的。PWM 的时期信号是由 T1CC0 和义务对通道输出周期是由 T1CCn。

H 桥配置，以避免失控交叉传导在一边的 H 桥。延迟或死亡的时间可在通过使用 T1CCn 作为 PWM 输出所示以下内容：假设通道 1 和通道 2 的用于驱动使用定时器输出向上/向下模式和渠道输出比较模式 4 和 5 分别，那么定时器期间（在定时器 1 时钟周期）是：大埔= T1CC0 和死区时间，即无论何时产出低，（在定时器 1 时钟周期）的给出：

$$T_D = (T1CC1 - T1CC2) \times T1CC0$$

附录 II 系统原理图

