



本科毕业设计(论文)

题目：太阳能电池检测系统设计

院（系）：光电工程学院

专 业：测控技术与仪器

班 级：120105

学 生：赵大放

学 号：120105120

指导教师：杜玉军

2016 年 06 月



本科毕业设计(论文)

题目：太阳能电池检测系统设计

院（系）： 光电工程学院

专 业： 测控技术与仪器

班 级： 120105

学 生： 赵大放

学 号： 120105120

指导教师： 杜玉军

2016 年 06 月

西安工业大学毕业设计（论文）任务书

系 别 测控系 专业 测控技术与仪器 班 120105 姓名 赵大放 学号 120105120

1.毕业设计（论文）题目：太阳能电池检测系统设计

2.题目背景和意义：太阳能是人类取之不尽用之不竭的可再生能源，也是清洁能源，不产生任何的环境污染。大太阳能光电利用是近些年来发展最快，最具活力的研究领域，是其中最受瞩目的项目之一。
为此，人们研制和开发了太阳能电池。硅系列太阳能电池中，单晶硅太阳能电池转换效率最高，晶体硅太阳能电池技术也最为成熟。但是其参数的检测现在仍然没有自动检测的产品问世。本课题旨在研究一种能够直接检测晶体硅电池开路电压、短路电流参数的检测系统，因此具有重要意义。

3.设计(论文)的主要内容(理工科含技术指标): 根据所学知识,设计一个基于单片机的晶体硅太阳能电池检测系统。选用合适的信号调理电路,并将其输出的数字信号输入所选择的单片机(MCU),单片机采集数字信号并进行数据处理,检测出晶体硅电池的开路电压、短路电流等参数,另外需要检测出太阳能电池板面的温度,然后一并由液晶显示器进行显示。需要完成的任务:(1)方案选择:设计系统的实现方案,选择合适的晶体硅电池的开路电压、短路电流检测电路、温度传感器、信号调理电路、单片机和系统需要的外围模块;(2)硬件设计:根据设计的系统方案,设计系统的硬件原理图,用 Altium Designer 绘制电路原理图,并在实验电路板上焊接电路,并调试通过;(3)软件设计:分析系统的功能要求,采用 C51 语言在 Keil 开发环境上设计系统的软件,并在焊接的电路板上调试通过。检测参数为检测开路电压 0-5V、短路电流 0-1A 和电池板表面温度 0-100℃;检测精度要求开路电压、短路电流误差不超过 0.05,温度不超过±1℃。

4.设计的基本要求及进度安排（含起始时间、设计地点）:

2016 年 3 月 10 日前，完成资料查询；学习相关知识。

2016 年 3 月 20 日前，完成课题的原理方案设计和方案的论证，完成开题报告。

2016 年 4 月 30 日前,完成外文文献翻译,建立系统的硬件设计、焊接和调试,完成中期检查报告。

2016 年 5 月 15 日前，完成软件的编制和调试。

2016 年 6 月 01 日前， 完成毕业论文的撰写。

5.毕业设计（论文）的工作量要求

① 实验(时数)*或实习(天数): _____

② 图纸 (幅面和张数) * :

③ 其他要求:

指导教师签名：_____ 年 月 日

学生签名：_____ 年 月 日

系主任审批：_____ 年 月 日

说明：1 本表一式二份，一份由学生装订入册，一份教师自留。

2 带*项可根据学科特点选填。

太阳能电池检测系统设计

摘 要

随着人们对环境污染和能源短缺问题的重视，太阳能电池产业已得到了蓬勃发展，太阳能终将成为未来能源的主力之一。因此，针对太阳能电池产品研制和生产过程中的重要设备——太阳能电池板综合检测系统的研究有着十分重要的意义。

本文介绍了太阳能电池及其测试技术，分析了太阳能电池的测试原理和测试方法。提出了基于单片机的太阳能电池检测系统的设计思路，并在此基础上开发出太阳能电池检测系统硬件装置和相应软件。该系统以 STC15F2K60S2 单片机作为控制装置的主控部件，根据太阳能电池测试原理和电子电路的相关知识，选用合适的电子元器件设计了能够完成数据采集任务的硬件电路，主要包括温度信号采集模块、电压及电流信号采集模块和显示模块等部分。

文章最后在系统开发完成后，我们进行了相关的调试，试验结果表明，本文设计的数据检测系统操作简单，能够对特定的太阳能电池进行测试，测试的结果也能够以直观简洁的方式呈现给测试人员，为测试人员研究分析晶体硅太阳能电池提供必要的依据，系统的整体性能基本达到了预期的要求，具有一定的实用价值。

关键词：晶体硅；太阳能电池检测；单片机；调试

Solar Cell Detection System Design

Abstract

With people's attention to the problem of environmental pollution and energy shortage, the solar cell industry has been booming, and the solar energy will become one of the main energy sources in the future. Therefore, in view of the solar cell product development and the production process important equipment---solar cell board integrated detection system's research has the very vital significance.

Solar cell and its test technology are introduced in this paper. The test principle and test method of solar cell are analyzed. Proposed microcontroller-based solar cell detection system design, and the development of solar cell inspection system hardware devices and the corresponding software on this basis. The system based on STC15F2K60S2 MCU as the master has control means, according to relevant knowledge of solar cell testing principle and electronic circuit, with appropriate choice of electronic components designed to complete the task of data acquisition hardware circuit, including temperature signal acquisition module block, voltage and current signal acquisition module and display module.

Finally, after the completion of system development, we have carried out relevant debugging, test results show that the design of data detection system has the advantages of simple operation, to test for specific solar battery, test results can also presented in a simple and intuitive way to test personnel, to provide the necessary basis for testers analysis of crystalline silicon solar cells, the overall performance of the system has basically reached the expected requirements, it has some practical value

Keywords: Crystal silicon; Solar cell detection ; Microcontroller ;Debug

目 录

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
1 绪 论.....	1
1.1 课题研究背景.....	1
1.2 课题研究的目的是和意义.....	1
1.3 国内外相关研究现状.....	2
1.4 本课题研究的内容.....	3
2 太阳能电池检测方案.....	4
2.1 太阳能电池工作原理.....	4
2.1.1 太阳能电池结构.....	4
2.1.2 太阳能工作原理.....	4
2.2 太阳能电池性能参数.....	4
2.2.1 太阳能工作原理.....	4
2.2.2 太阳能电池性能参数.....	5
2.3 晶体硅太阳能电池检测系统实施方案设计.....	6
2.3.1 开路电压、短路电流检测.....	6
2.3.2 太阳能电池表面温度检测.....	7
2.4 本章小结.....	7
3 系统硬件电路设计.....	8
3.1 单片机最小系统设计.....	8
3.2 温度传感器电路设计.....	11
3.3 开路电压、短路电流检测电路设计.....	13
3.4 LCD 显示电路设计.....	16
3.5 本章小结.....	17
4 系统软件设计与开发.....	18
4.1 软件系统结构.....	18

4.2 温度测试模块软件设计.....	18
4.3 A/D 转换模块软件设计.....	22
4.3.1 STC15F2K60S2 的 A/D 转换.....	22
4.3.2 A/D 转换程序流程图.....	24
4.4 LCD1602 显示模块.....	25
4.5 本章小结.....	27
5 系统性能测试与分析.....	28
5.1 系统调试.....	28
5.2 结果分析.....	28
5.3 抗干扰措施.....	30
5.4 本章小结.....	31
6 总结与展望.....	32
6.1 工作总结.....	32
6.2 工作展望.....	32
参考文献.....	33
致 谢.....	34
毕业设计（论文）知识产权声明.....	35
毕业设计（论文）独创性声明.....	36
附 录.....	37
附录 1 系统所需的元器件清单.....	37
附录 2 系统 Altium Designer 电路原理图.....	38
附录 3 系统 PCB 原理图.....	39
附录 4 系统实物图及软件界面.....	40

1 绪 论

1.1 课题研究背景

随着能源技术的不断创新，对我们社会的发展起着越来越大的推动作用，然而，目前所使用的化石能源在带给我们带来社会文明进步的同时，却因能源使用量的大幅度提高以及所产生的环境污染，给人类的生存环境带来了巨大的危害。因此，“可持续发展”和“绿色环保”成为全球的呼声。

现有的可再生能源主要有风能、生物能、太阳能及氢能。人类在使用可再生能源时最需要考虑的要素为：第一，要有巨大的、取之不尽的源头；第二，在安全保障的前提下保证效率。根据以上两点，太阳能比其他几种可再生能源具有更大的潜力，确立了太阳能在可再生能源中的重要地位。

由于太阳能所具有的取之不尽、用之不竭的特点，太阳能光电利用也成为最有发展前景的一种新型能源技术。太阳能光电利用也是近几年发展最快、最具活力的研究领域，同时也是最受瞩目的项目之一^[1]。硅系列太阳能电池中，晶体硅太阳能电池转换效率最高，技术也较为成熟，但其参数的检测现在仍然没有简单检测产品的问世。本课题旨在研究一种能够直接检测晶体硅电池开路电压、短路电流及表面温度参数的检测系统，因此具有重要意义。

1.2 课题研究的目的是和意义

近几十年来，太阳能技术得到了大多数国家的鼓励和支持，在各个方向蓬勃发展。因此，通过光伏途径还是光热途径，直接应用太阳能将成为人类使用能源的新方式，并且，这种方式将成为人类主要能源结构中的重要组成部分。

太阳能电池板是光伏发电的核心部分，其原理是利用 PN 结的光生电效应，将太阳能所发出的光能转化为电能^[2]。目前，光伏市场上主流的太阳能电池板是晶体硅电池板，其技术成熟、价格低廉，占据了 80%以上的市场，预计未来的 5-10 年，主导地位不会发生改变。所以，现阶段对于太阳能电池的研究还是基于晶体硅太阳能电池。

在太阳能光伏发电技术中太阳能电池板的性能起着关键作用，太阳能电池板的开路电压、短路电流及表面温度等性能参数对其产业化应用有着重要的影响，因此，太阳能电池板的检测是太阳能电池板生产过程中的重要环节。检测是在一定的光强下，测量晶体硅太阳能电池板的电压、电流、温度等数据计算出太阳能电池的开路电压、短路电流及表面温度。在测试过程中必须对太阳能电池板组件在给定光强下的各种数据进行检测，要高效且准确地完成太阳能电池数据的检测，则必须用到太阳能电池检测系统。

太阳能电池板质量的优劣就决定了太阳能利用率的高低，就目前来看，对于晶体硅太阳能电池板而言还存在着易破碎、易隐裂以及转换效率不高等问题，为了保障太阳能电池板的品质，对其性能进行检测就成了重中之重。

1.3 国内外相关研究现状

根据以上背景可以看出,对于各个太阳能电池板的生产厂商,对太阳能电池板进行高效测试是必不可少的。晶体硅太阳能电池板作为目前主流的光伏器件,具有很高的性价比,发展速度惊人,内在质量不断提高,市场面广泛,受到越来越多的消费者的亲睐,现在已经成为民用、军用电池的主导产品之一。为了适应这种需求,我国先后引进了不少的先进技术,使得国产的晶体硅太阳能电池板质量有了明显的提高^[3]。

在国内外市场,太阳能电池板测试仪已经得到广泛应用,多家研究机构正在对其进行研究,并且有许多公司已经生产出比较成熟的系列产品。知名的科研机构有:意大利光伏工业协会、国际新能源研究中心和夫琅和费太阳能系统协会等。国外优秀的太阳能电池板测试仪生产商有:PASAN-BELVAL S.A.、SpireSolar Inc,Hughes 和 P.Energy 等,其中,较先进的测试设备测试精度通常在 $\pm 0.5\%$ ~ $\pm 1\%$ 之间。国外的太阳能电池测试设备通常特点是:体积大、价格高、功耗大,如瑞士 PASAN 公司生产的 DLSK-FXJ2 型检测仪售价高达数十多万美元。

随着晶体硅太阳能电池需求的急剧增长,对电池板检测设备的需求也在同步增长。在九十年代,从一些国内著名的企业引进的设备可以看出,有选择检测精度和合格率都很高如美国 MACCOR 的设备,但由于引进上述生产线中的检测设备所需的费用非常贵,就当时我国的情况来看国内一般的中小企业是无法承受的。当时国内大多数的中型企业依然使用传统的手工检测作为体现电池板性能参数的检测方法,而一些小企业则不采用任何措施,因此很难保证其产品质量^[4]。从以上情况来看,国内很需要一种价格便宜、检测精度高、操作方便的检测设备。后来,一些研究机构、公司及高校也相继进入太阳能电池板检测行业中。例如,北京有色金属研究总院、南京中观机械电子有限公司以及燕山大学和南航空航天大学等也相继陆续投入到电池板检测市场,采用各自的新技术^[5]。南京航空航天大学设计了电池性能检测系统,燕山大学也设计了晶体硅太阳能电池板自动检测分选机,他们都提出了对电池板进行开路电压和短路电流的自动检测的方法,克服了人工检测的缺点,但其检测精度一般。河北工业大学研究了晶体硅太阳能电池板在线的质量检测,他们研究了四个参数:开路电压、负载电压、短路电流、电池板重量。该设备精度高、检测参数多样化,得到了良好的效果,但在检测短路电流时,并没有达到国标要求即检测回路电阻小于 $10\text{m}\Omega$ ^[6]。

晶体硅太阳能电池板的发展已经逐步渗透于各行各业,成为我国重要的能源之一,但与国际先进水平相比还存在着一定的差距,太阳能电池板的质量是通过检测产品设备来实现的,因此,提高检测技术的先进性、适用性、稳定性和可靠性对太阳能电池产品质量的提高和整个电池行业的发展有着非常重要的意义。

综上所述,国内所研制的检测设备还无法应用到实际生产中,依然停留在单体检测的阶段,其中一些测试设备的稳定性和性能指标较差,而国外的设备价格昂贵,性价比较低,不能得到广泛的使用^[7]。就目前的现状而言,我国太阳能电池板及其组件的检测设备

主要还是依赖进口，我们迫切的需要一种可行的方案来解决这一问题。

1.4 本课题研究的内容

本文设计一个基于单片机的太阳能电池检测系统，主控单片机采集数字信号并进行数据处理，检测出晶体硅电池的开路电压、短路电流等参数，其中电压、电流需要经过 A/D 转换单元，实现由模拟信号到数字信号的转换，并将其输出的数字信号输入所选择的单片机，而温度信号的采集采用数字温度传感器 DS18B20，可直接输出二进制数据；转换成二进制的电压、电流、温度通过单片机的数据处理和处理后结果的显示；整个数据检测部分以单片机为控制核心，通过单片机实现数据检测单元、A/D 转换单元和串口通信单元之间的协调工作。

本文的主要工作如下：

(1)了解国内外晶体硅太阳能电池检测系统的研究现状，从多方面分析各种方案的实际可行性，为设计本系统做好理论依据；

(2)分析太阳能电池的工作原理，设计其等效电路；根据太阳能电池的性能及其需要检测的参数制定总体检测方案；

(3)太阳能电池板综合测试系统的硬件设计，包括：负载继电器控制模块、电压采集模块、温度采集模块以显示模块；

(4)太阳能电池板综合测试系统的软件设计，包括：数据采集、数据分析、数据处理以及结果显示；

(5)调试系统，根据检测结果进行误差分析。

2 太阳能电池检测方案

2.1 太阳能电池工作原理

2.1.1 太阳能电池结构

太阳能电池板的材料种类繁多，本文主要以硅材料的太阳能电池板作为研究对象，讨论其工作原理。晶体硅太阳能电池结构如图 2.1 所示，电池以硅半导体材料制成大面积 P-N 结进行工作，主要用 P 型硅材料为基质，在 P 型硅表面扩散一层很薄的经过重掺杂的 N 型层，在 N 型表面制作金属栅极作为正面接触极，背面制作成金属膜作为背面接触电极。

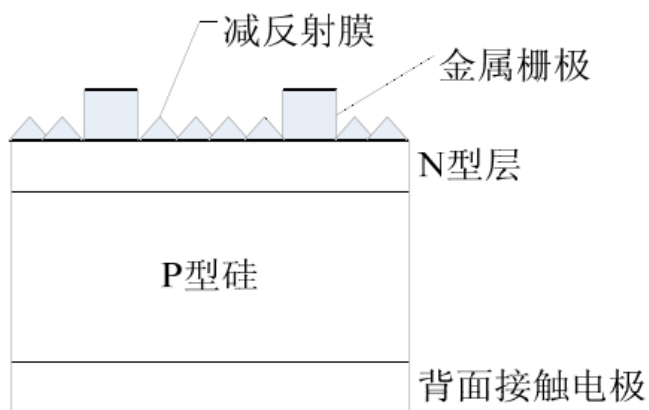


图 2.1 太阳能电池结构图

2.1.2 太阳能工作原理

光照下，P-N 结将产生光生伏特效应。当入射光能量大于导体材料的禁带宽度时，光子在表面一定深度范围内被吸收，并在结区及其附近的区域激发电子空穴对。此时，空间电荷区内的光生电子和空穴分离，P-N 结附近扩散长度范围内的光生载流子扩散到空间电荷区。P 区的电子在电场作用下漂移到 N 区，N 区的空穴漂移到 P 区，产生光生电流。光生载流子的漂移并堆积形成与结电场方向相反的电场及正向结电流。当光生电流和正向结电流相等时，P-N 结建立稳定的电势差，即光生电压。

2.2 太阳能电池性能参数

2.2.1 太阳能工作原理

太阳能电池板通过光生伏特效应实现光能到电能的转换，根据理论分析可得电池的电流——电压特性为：

$$I = I_L - I_{01} \left[e^{\frac{q(V+IR_s)}{KT}} - 1 \right] - I_{02} \left[e^{\frac{q(V+IR_s)}{2KT}} - 1 \right] - \frac{(V+IR_s)}{R_{sh}} \quad (2-1)$$

式 2-1 中 V 为 P-N 结外加电压，电阻 R_s 和 R_{sh} 用来反映电池实际存在的寄生电阻， I_L 为光生电流， I_{01} 是与 N 和 P 中性区复合有关的暗饱和电流， I_{02} 是和耗尽区相关的暗饱和电流， $q=1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 是电荷常数， $k=1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ 为玻尔兹曼常数， T 为绝对温度^[8]。

为了进一步分析太阳能电池的特点，可以来一个等效电路表现太阳能电池的工作情况，等效电路图如图 2.2 所示。电路由一个理想恒流源 I_L ，一个串联电阻 R_s ，一个并联电阻 R_{sh} ，以及理想因子分别为 1 和 2 的两个二极管 D_1 和 D_2 组成。

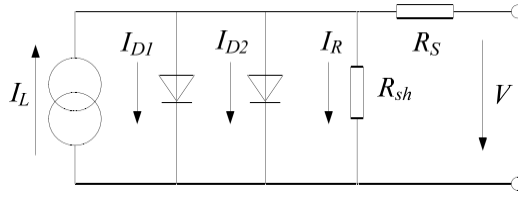


图 2.2 太阳能电池等效电路图

2.2.2 太阳能电池性能参数

为了便于分析，将式 2-1 进行简化，将两个二极管中的理想因子进行合并得到的电流——电压特性如下：

$$I = I_L - I_0 \left[e^{\frac{q(V+IR_s)}{n_0KT}} - 1 \right] - \frac{(V+IR_s)}{R_{sh}} \quad (2-2)$$

式中 n_0 可在 1~2 之间变化。通过 2-2 式，可以得出太阳能电池的伏安特性曲线。根据伏安特性曲线的数据，可以计算出太阳能电池性能的重要参数，包括开路电压、短路电流、最大输出功率、最佳输出电压、最佳输出电流、填充因子、太阳能电池光电转换效率，串联电阻以及并联电阻。下面对这些参数进行具体的解释。

- (1) 开路电压 V_{oc} ：即在标准条件下， $I=0$ 时，太阳能电池所输出的电压值；
- (2) 短路电流 I_{sc} ：即在标准条件下， $V=0$ 时，太阳能电池由光电流所提供的电流值；
- (3) 串联电阻 R_s ：即主要来源于与太阳能电池本身的体电阻、前电极金属栅极的接触电阻、栅极之间横向电流对应的电阻、背电极的接触电阻及金属本身的电阻等；

$$R_s = \left| \left(\frac{dI}{dV} \right)^{-1}_{V=V_{oc}} \right| = \left| \left(\frac{dV}{dI} \right)_{I=0} \right| \quad (2-3)$$

- (4) 并联电阻 R_{sh} ：主要来源于电池 P-N 结的漏电，包括 P-N 结内部的漏电流（晶体缺陷和外部掺杂沉积物）和结边缘的漏电流。

$$R_s = \left| \left(\frac{dI}{dV} \right)^{-1}_{V=0} \right| = \left| \left(\frac{dV}{dI} \right)_{I=I_{sc}} \right| \quad (2-4)$$

2.3 晶体硅太阳能电池检测系统实施方案设计

本文设计的数据采集检测系统主要采集太阳能电池的电压、电流、电池板表面温度三种数据。其中电压需要经过 A/D 转换单元，实现由模拟信号到数字信号的转换，而温度的检测采用数字温度传感器 DS18B20，可直接输出二进制数据；转换成二进制的电压、电流和温度通过单片机进行数据的处理和结果的显示；整个数据检测部分以单片机为控制核心，通过单片机实现数据检测单元、A/D 转换单元和显示单元间的协调工作，太阳能电池检测总体结构如图 2.3 所示^[9]。

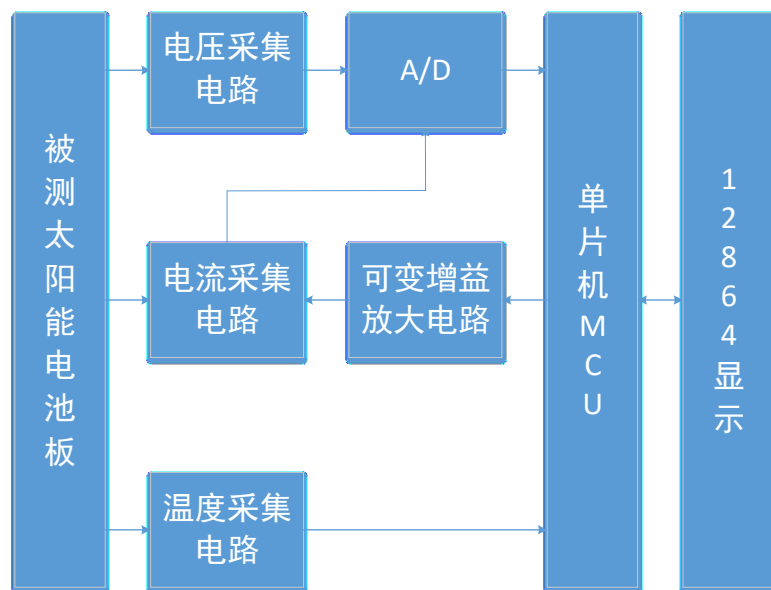


图 2.3 太阳能电池板检测系统框图

2.3.1 开路电压、短路电流检测

本文所采用的电压、电流测量电路是通过继电器来切换太阳能电池板的开路与短路态。

电压测量电路采用的是由 NE5532 组成的两级电压跟随器，其输入阻抗很高，可以认为当前状态太阳能电池板正负极两端开路，为避免电压跟随器输出电压过高，在一二级跟随间加入了分压电阻，因此跟随器输出电压为 $1/2V_{oc}$ 。

光强一定的条件下，太阳能电池板开路电压 V_{oc} ，一级跟随后电压为 V_{oc1} ，二级跟随后电压为 V_{oc2} 。开路电压与跟随器输出关系如下：

$$V_{oc} = V_{oc1} = 2V_{oc2} \quad (2-5)$$

电流测量电路是采样仪表放大器 AD620AN 与多路复用器 CD4051BE 组成的可变增益放大电路，通过改变接入放大电路增益电阻的阻值来改变放大倍率。太阳能电池板的短路电流为 I_{sc} ，采样电阻 R_0 ，增益 G ，输出电压 U ，其输入与输出关系为：

$$U_0 = I_{sc} R_0 \quad (2-6)$$

$$U = U_0 G \quad (2-7)$$

两路继电器控制系统，体积小、开发成本低、效益高，特别适用于仪器仪表及小型控制系统^[13]。

2.3.2 太阳能电池表面温度检测

太阳能电池板的电压、电流等参数都会随外界环境的变化而同时变化。因此，在检测开路电压、短路电流的同时，必须精确测量太阳能电池板表面的温度。

系统温度变化范围为 $0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ ，本课题所选用的温度传感器为 Dallas 公司的产品 DS18B20^[14]，该芯片具有低功耗、高性能、抗干扰能力强以及被测温度直接采用数字形式输出的特点，无需外加 A/D 转换器，测温范围为 $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ ，精度为 ± 0.5 ，分辨率为 9-12 位，程序中采用 12 位的分辨率(即 0.0625°C)，采用 Dallas 的 1 线方式，可方便地进行系统扩展，当距离增加时，可减小上拉电阻的数值至 1K ^[15]。

在实际检测时，考虑到太阳光的直射会造成测量的温度产生偏差，因此，对 DS18B20 传感器探头需进行专门处理，为准确测量出环境温度，传感器探头不能接触物体，否则测量结果会失准，应放在百叶箱中进行测量，以避免太阳直射造成温度测量失准^[16]。

2.4 本章小结

本章主要以硅晶体太阳能电池为例，讨论了其工作原理;并结合太阳能电池的电流电压方程，设计了太阳能电池板的等效电路图，对其性能的方便分析；最后，总结了太阳能电池的开路电压、短路电流及表面温度等参数的检测方法，并设计了总体检测方案。

3 系统硬件电路设计

3.1 单片机最小系统设计

单片机最小工作系统由电源、晶振电路、复位电路组成。根据需要，本系统中还加入了 LED 指示灯。

本系统中心控制器 MCU 选择 STC15F2K60S2。STC15F2K60S2 单片机是宏晶科技推出的新一代高速、低功耗、超强抗干扰的单片机，指令代码完全兼容传统 8051，速度为 8051 的 8-12 倍，掉电模式可由外部中断唤醒，适用于电池供电系统，如便携设备、水表、气表，内部集成 R/C 时钟，频率从 5~35MHz 可调，内部包含 8 路 10bit A/D 转换电路，无需外接外部 ADC，内置 2K 字节大容量 SRAM，2 组高速异步串行通信端口，1 组高速同步串行通信端口 SPI，其引脚如图 3.1 所示^[17]。

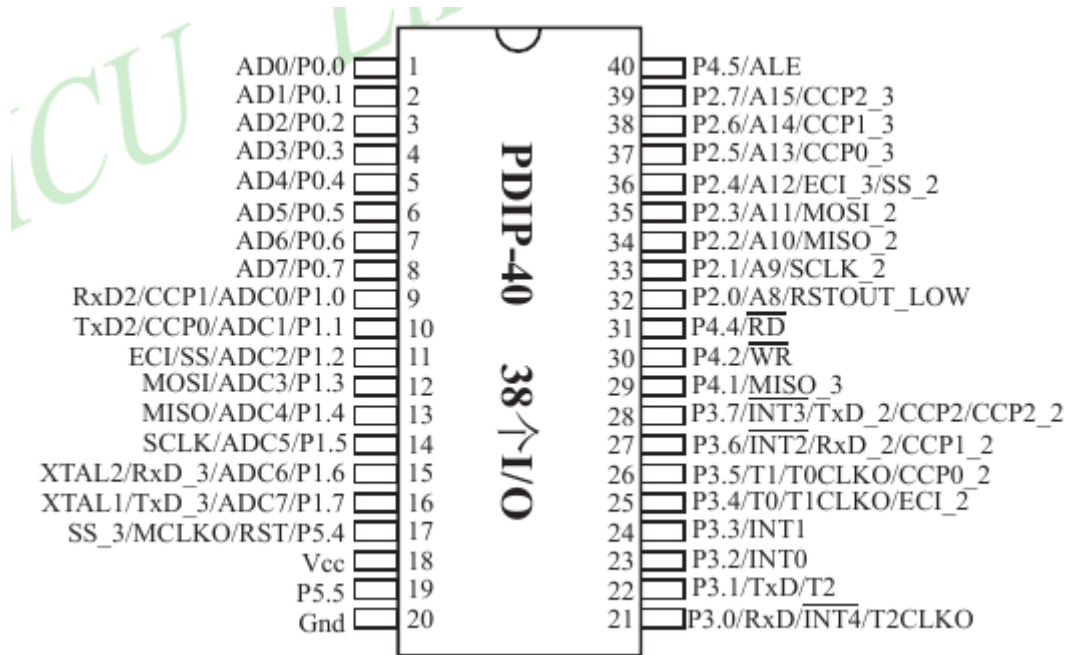


图 3.1 STC15F2K60S2 引脚图

STC15F2K60S2 系列单片机的内部结构框图如下图所示。STC15F2K60S2 系列单片机中包含中央处理器(CPU)、程序存储器(Flash)、数据存储器(SRAM)、定时器、I/O 口、高速 A/D 转换、看门狗、UART 高速异步串行通信口 1/串行通信口 2，CCP/PWM/PCA，1 组高速同步串行端口 SPI，片内高精度 R/C 时钟及高可靠复位等模块。STC15F2K60S2 系列单片机几乎包含了数据采集和控制中所需的所有单元模块，可称得上是一个片上系统，其内部结构如图 3.2 所示。

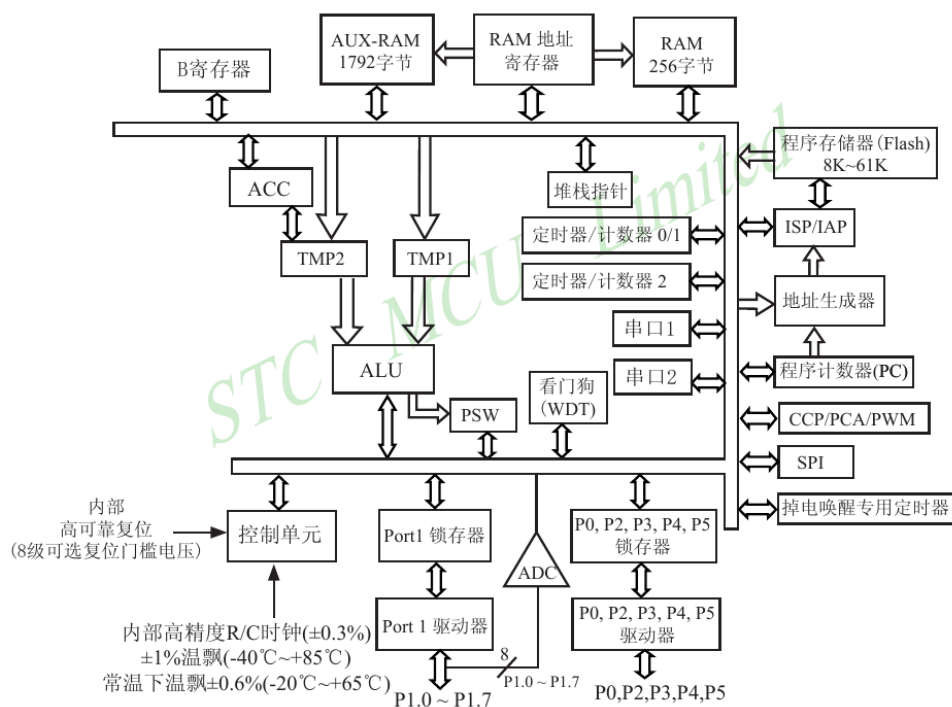


图 3.2 STC15F2K60S2 内部结构图

STC15F2K60S2 的基本特性主要有：

- (1) 增强型 8051 CPU，1T，单时钟/机器周期，速度比普通 8051 快 8-12 倍；
- (2) 工作电压：5.5V~3.3V（5V 单片机）；
- (3) 8K/16K/24K/32K/40K/48K/56K/60K/61K 字节片内 Flash 程序存储器，擦写次数 10 万次以上；
- (4) 共 8 通道 10 位高速 ADC，速度可达 30 万次/秒，3 路 PWM 还可当 3 路 D/A 使用；
- (5) 片内大容量 2048 字节的 SRAM；
- (6) 38 个通用 I/O 口，复位后为：是准双向口上拉（普通 8051 传统 I/O 口）可设置成四种模式，P0 口是漏极开路输出，作为总线扩展用时，无需再加上拉电阻，但作为 I/O 口用时，需加上拉电阻；
- (7) ISP（在系统可编程）/ IAP（在应用可编程），无需使用专用编程器，无需使用专用仿真器，可通过串口（RxD/P3.0，TxD/P3.1）直接下载用户程序，数秒即可完成一片；
- (8) 3 个 16 位定时器，2 个与传统 8051 兼容的定时器/计数器，16 位定时器 T0 和 T1，没有定时器 2，但有独立波特率发生器做串行通讯的波特率发生器，再加上 2 路 PCA 模块可再实现 2 个 16 位定时器；
- (9) 4 路外部中断，下降沿中断或低电平触发电路，Power Down 模式可由外部中断低电平触发中断方式唤醒；
- (10) 通用异步串行口(UART)，由于 STC89C52 系列是高速的 8051，可再用定时器或 PCA 软件实现多 UART；
- (11) 工作温度范围：-40~+85℃(工业级)/0~75℃(商业级)；
- (12) 封装：PDIP-40，I/O 口不够时，可用 2 到 3 根普通 I/O 口线外接 74HC164/165/595

（均可级联）来扩展 I/O 口，还可用 A/D 做按键扫描来节省 I/O 口，或用双 CPU，三线通信，还多了串口。

（13）内部高精度 R/C 时钟($\pm 0.3\%$)， $\pm 1\%$ 温飘($-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$)，常温下温飘 $\pm 0.6\%$ ($-20^{\circ}\text{C} \sim +65^{\circ}\text{C}$)，内部时钟从 5MHz~35MHz 可选(5.5296MHz / 11.0592MHz / 22.1184MHz / 33.1776MHz)

STC15F2K60S2 单片机的工作模式^[18]:

- 掉电模式：典型功耗 $<0.1\mu\text{A}$,可由外部中断唤醒，中断返回后，继续执行原程序；
- 空闲模式：典型功耗 2mA；
- 正常工作模式：典型功耗 4Ma~7mA；
- 掉电模式可由外部中断唤醒，适用于电池供电系统及便携设备。

计算机在启动运行时都需要复位，使得中央处理器 CPU 和系统中其它部件都可以处于一个确定的初始状态，并从这个状态开始工作。STC15F2K60S2 的复位输入引脚 RST 为其提供了初始化的手段，从而使程序从指定处开始执行，在 STC15F2K60S2 的时钟电路工作后，当 RST 引脚上出现超过两个机器周期以上的高电平时，即可产生复位的操作。当 RST 保持高电平时，即可循环复位。只有当 RST 由高电平变低电平以后，STC15F2K60S2 才从 0000H 地址开始执行程序。本系统采用按键与上电自动复位方式的复位电路。

STC15F2K60S2 单片机有一个复位引脚 RST，其输入为施密特触发，当振荡器起振后，该引脚上出现 2 个机器周期（即 24 个时钟周期）以上的高电平。从而使得器件复位，只要 RST 保持高电平，STC15F2K60S2 保持复位状态。此时 ALE、PSEN、P0、P1、P2、P3 口都输出高电平。RST 变为低电平后，退出复位，CPU 从初始状态开始工作。复位以后内部寄存器的初始状态为（SP=07，P0、P1、P2、P3 为 0FFH 外），其它寄存器都为 0。在 RST 复位端接一个电容至 Vcc，一个电阻至 Vss，就能实现上电自动复位，对于 CMOS 单片机只要接一个电容至 Vcc 即可。在加电瞬间，电容通过电阻充电，就在 RST 端出现一定时间的高电平，只要高电平时间足够长，就可以使 STC15F2K60S2 有效地复位。单片机的复位电路如图 3.3 所示。

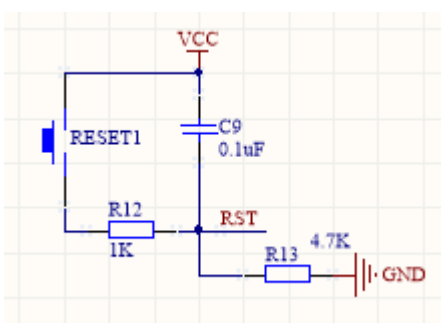


图3.3 复位电路

结合以上电路，最小系统原理图如图 3.4 所示。

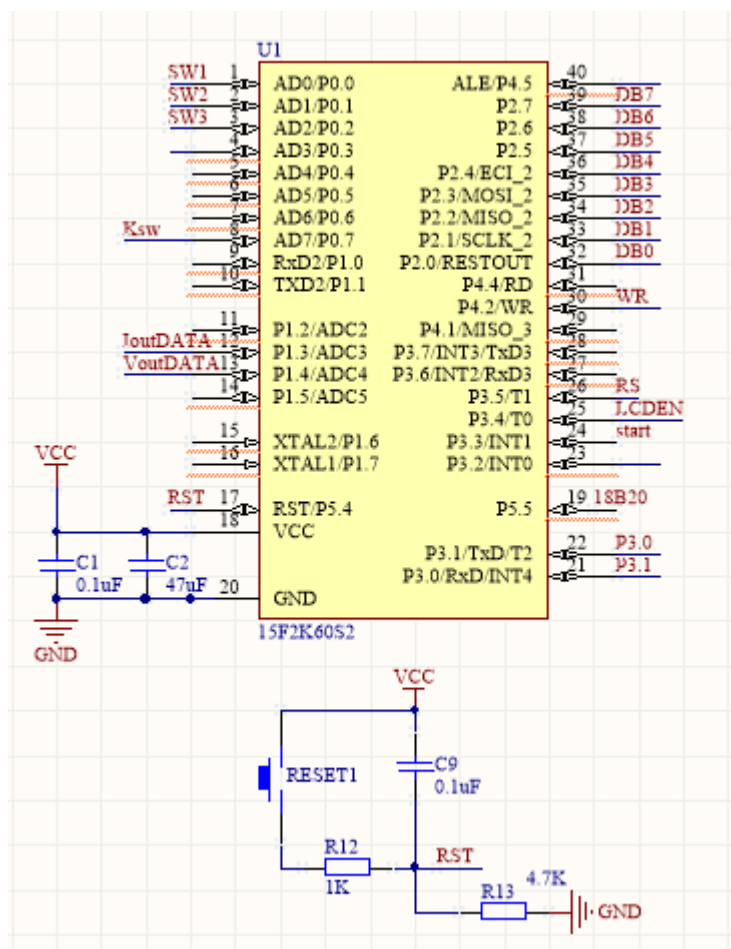


图 3.4 最小系统原理图

3.2 温度传感器电路设计

温度传感器用来检测太阳能电池板表面的温度，随时了解太阳能电池板的表面温度对与提高电池板的转换效率至关重要。本系统中用到的温度传感器为 DS18B20。它的特点为:可直接读出被测温度值，而且为了减少外部电路的设计以及降低成本和容易操作，它与单片机的链接只利用 1 根线与控制核心连接。DS18B20 的电源线和信号线复合使用，节约了硬件的成本设计，可以使用户比较简单的组建传感器网络，是应用非常方便也是应用最为广泛的温度传感器之一。同时一个芯片只有一个编码，具有较强的温度感知，等待时功耗基本为零等特点。

DS18B20 数字温度传感器拥有三个引脚，可以只利用单片机的一个端口就能完成数据的传送，无需再增加更多的外部电路，节约了经济成本，降低了传感器数据的不稳定性。且测量温度范围在 $-55\sim+125^{\circ}\text{C}$ 之间。如图 3.5 为 DS18B20 的实物引脚图，它的 3 个引脚功能如下：

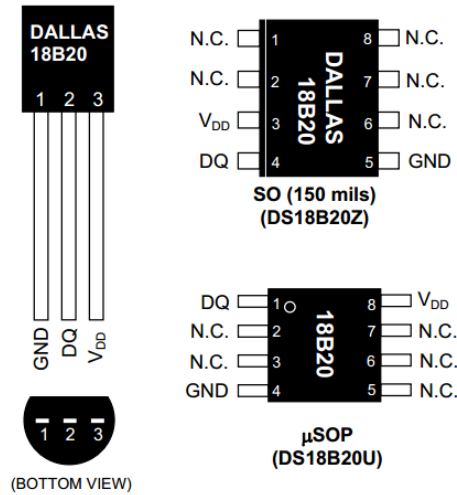


图 3.5 DS18b20 引脚图

第一个引脚:GND 地信号;

第二个引脚:DQ 数据输入/输出引脚;

第三个引脚:VDD 可选的 VDD 引脚,当工作于寄生电源时,此引脚必须接地。

下面介绍一下 DS18B20 的工作原理,DS18B20 的内部结构原理如图 3.6 所示。

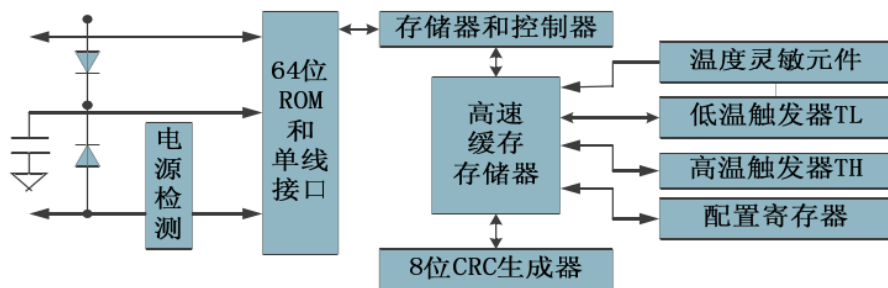


图 3.6 DS18B20 的具体内部结构

DS18B20 的测试温度原理如图 3.7 所示。

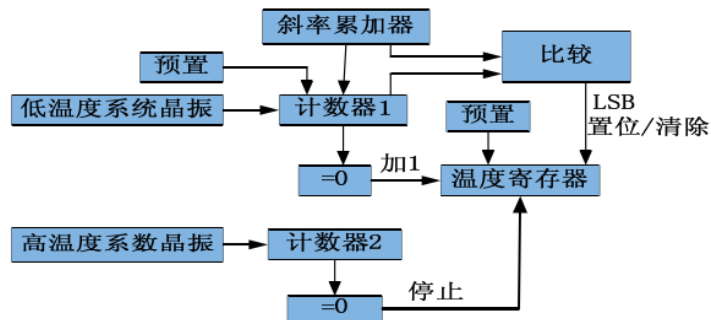


图 3.7 DS18B20 测温原理图

从图可以看出,在高温度系数和低温度系数下温度对晶振的震荡频率的影响是不同的。当在温度对高温度系数下的振荡频率影响比较大,而计数器 2 将接收产生的固定频率脉冲信号。当检测温度在低温度系数下,其对振荡频率影响比较小,而计数器 1 接收产生的固定频率脉冲信号。在计数器 1 中将低温度系数晶振产生的脉冲信号进行减法计数(温度寄存器中的预置值为 -55°C)。但预置值减为 0 时,一个计数器预置值 1 将会被温度寄存

器增加,这时就会重新加载计数器 1 的预置值,一个低温度系数晶振下的计数将会重新被启动。由此可得,当计数器 2 中的值为 0 时,将会停止累加器的累加操作,同时所测得温度也会得出来。它存储在温度寄存器中,其中对计数器预置值的校正以及对测温过程中非线性的补偿和修正是在斜率累加器中完成的^[19]。

从温度传感器 DS18B20 数字温度计可以获取到 9 位到 12 位的可编程的有效温度数,因为该温度传感器是单通道信号传输,所以 DS18B20 和中央控制核心只有一条线连接。他不需要外界再提供数模转换电路,本身输出就为数字量,非常方便实用,减少了大量硬件电路的设计。这使得温度传感器放置在许多不同的地方。因为多个 DS18B20 可同时存在于一条总线,其每一个 DS18B20 包含一个独特的序号。在检测太阳能电池板温度时,将传感器置于太阳能电池板的下方,紧贴太阳能电池板的表面,从而获取到最接近于太阳能电池板表面的温度。并将 DS18B20 的信号输出引脚在中央处理器的输入引脚上温度传感器的电路图如 3.8 所示。

由于 DS18B20 为单线输入输出,便于对传感器进行复位和开始指令的操作。并且读出的数据直接为数字量,便于中央处理器对数据进行采集。

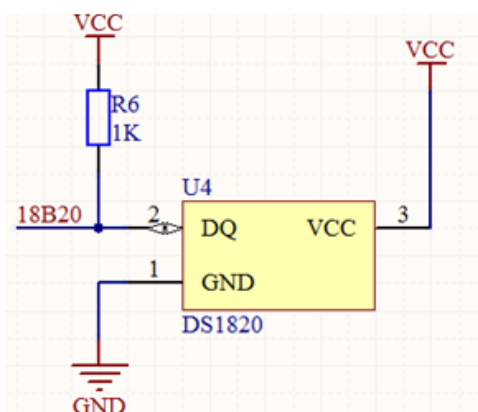


图 3.8 温度传感器的电路图

3.3 开路电压、短路电流检测电路设计

本设计中采用了双路自动切换设计,以区分太阳能电池板的短路态和开路态,避免了单一状态测量时其他测量电路对其的干扰。通过单片机控制三极管的方式驱动继电器进行状态切换,避免了单片机端口驱动能力不足的问题,其设计电路图如图 3.9 所示。

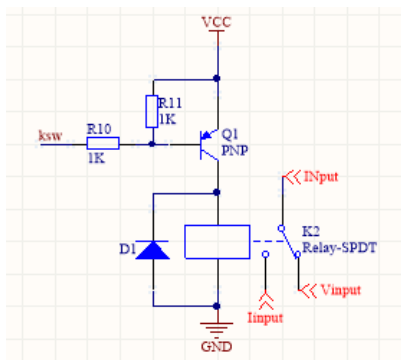


图 3.9 继电器切换电路

开路电压测量电路采用的是有 NE5532 组成的两级电压跟随器，NE5532 是有 TI 公司生产的一款双路高精度低噪声运算放大器，具有高单位增益带宽、低噪声、驱动能力强的优点，其引脚图如图 3.10 所示。

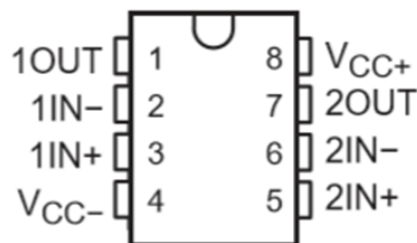


图 3.10 NE5532 引脚图

NE5532 有 8 个管脚，其各个管脚功能入下：

- (1) 1OUT:第一路输出
- (2) 1IN-:第一路反相输入端
- (3) 1IN+:第一路同相输入端
- (4) VCC-、VCC+:电源供电端
- (5) 2OUT:第二路输出
- (6) 2IN-:第二路反相输入端
- (7) 2IN+:第二路同相输入端

为了使输出信号不超过 A/D 输入范围，在一二级运放直接加入分压电路，对信号进行了限幅处理，其电路如图 3.11 所示。

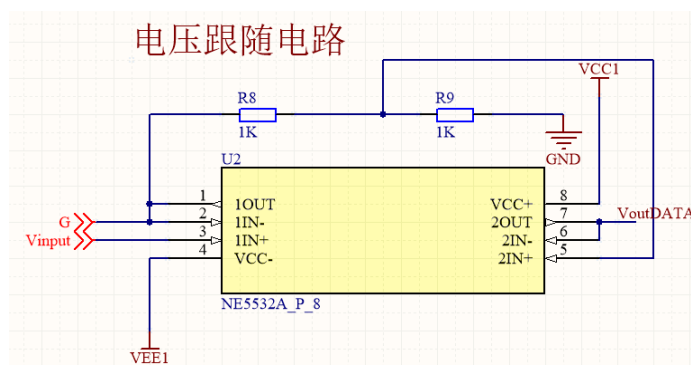


图 3.11 开路电压检测电路

短路电流检测电路使用的是由 ADI 公司所生产的高精度仪表放大器 AD620AN 和 TI 公司生产的 CD4051BE 单 8 通道数字控制模拟电子开关组成的可编程增益仪表放大电路。通过采样电阻将电流信号转换成电压信号，后经过处理得到短路电流的大小。

AD620AN 是一款单芯片仪表放大器，采用经典的三运放改进设计。通过调整片内电阻的绝对值，只需要一个电阻就可以实现对增益的精确编程，可以通过改变 1-8 脚之间的电阻来改变整体的增益大小，其增益计算公式为

$$G = \frac{49.4k\Omega}{R_G} + 1 \quad (2-7)$$

AD620 的引脚图如图 3.12 所示，其各个管脚功能如下：

- (1) R_G :增益电阻端
- (2) $-IN$:反相输入端
- (3) $+IN$:同相输入端
- (4) $-V_S$:负电源供电端
- (5) REF:参考地端
- (6) OUTPUT:信号输出端
- (7) $+V_S$:正电源供电端

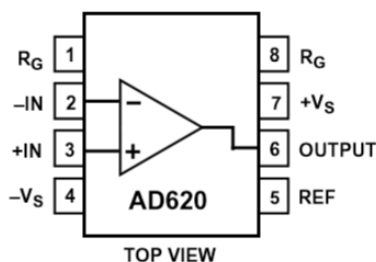


图 3.12 AD620AN 引脚图

CD4051BE 是一款低导通阻抗、低截止漏电流的 8 路复用器，通过 ABC 三个二进制控制端可以以幅值为 4.5~18V 的数字信号可控制峰峰值至 18V 的模拟信号。其片上还用一个使能端，当 INH 输入端=“1”时，所有的通道截止。只有当 INH=0 时，三位二进制信号才可以选通 8 通道中的一个通道，连接该输入端至输出。

NE5532 的引脚图如图 3.13 所示，其各个管脚功能如下：

- (1) In/Out 0~7:输入输出端
- (2) INH:使能端
- (3) VEE: 参考地端
- (4) VSS:负电源供电端
- (5) VDD: 正电源供电端
- (6) A、B、C:控制端

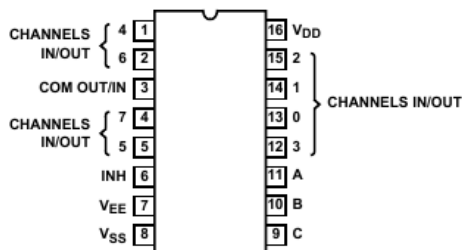


图 3.13 CD4051B 引脚图

其整体电路图如图 3.14 所示。

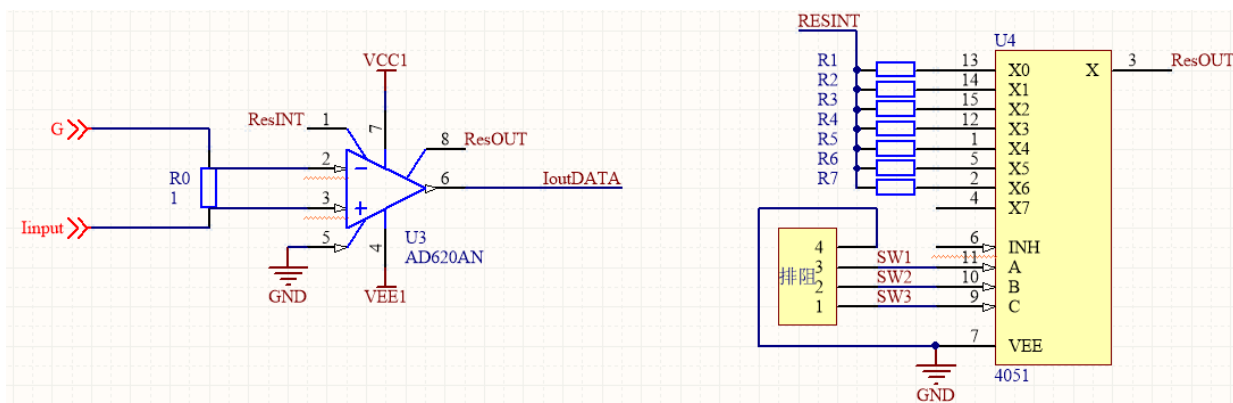


图 3.14 短路电流测量电路

3.4 LCD 显示电路设计

为了系统能够显示检测的结果，本系统加入了 LCD 显示模块，液晶显示模块是 16X2 点阵的字符图形型液晶显示模块，可显示显示字母、数字、符号。可与 CPU 直接接口，提供两种界面来连接微处理器：8-位并行连接方式。直接驱动 LCD 的是 V0，V0 电压越高，对比度越深。通过调节电位器来调节 V0 值以改变对比度。

LCD1602 有 16 个管脚，各管脚的功能如下：

- (1) 引脚 1 (VSS)：电源地；
- (2) 引脚 2 (VDD)：电源正；
- (3) 引脚 3 (V0)：对比度（亮度）调整；
- (4) 引脚 4 (RS)：RS=“H”，表示 DB7—DB0 为显示数据；RS=“L”，表示 DB7—DB0 为显示指令数据；
- (5) 引脚 5 (R/W)：R/W=“H”，E=“H”，数据被读到 DB7~DB0；R/W=“L”，E=“H→L”，DB7~DB0 的数据被写到 IR 或 DR；
- (6) 引脚 6 (E)：使能信号；
- (7) 引脚 7~14 (DB7~DB0)：三态数据线；
- (8) 引脚 15 (A)：背光电源正极；
- (9) 引脚 16 (K)：背光电源负极；

主要技术参数如下表 3.1 所示。

表 3.1 LCD1602 主要技术参数

显示容量：	16X2	点尺寸：	0.48×0.48 (WXH) mm
工作电压：	4.8~5.2V	模块最佳工作电压：	5.0V
工作电流：	4.0mA	背光源颜色：	黄色 (5.0V)
背光源工作电流：	<150.0mA		蓝膜负显 STN

LCD1602 液晶显示电路如图 3.15 所示。

4 系统软件设计与开发

4.1 软件系统结构

晶硅太阳能电池检测系统的软件主要实现的功能是：首先系统上电完成对中央处理器模块的初始化然后完成各个传感器的初始化，即完成对温度传感器电路模块 DS18B20、A/D 转换电路模块 PCF8591、继电器控制电路模块以及显示电路模块 LCD1602 的初始化操作。最后经过串口通信程序将检测到的各种数据传送到单片机处理、分析，将最终的结果在 LCD1602 上显示。具体的软件流程图如图 4.1 所示。

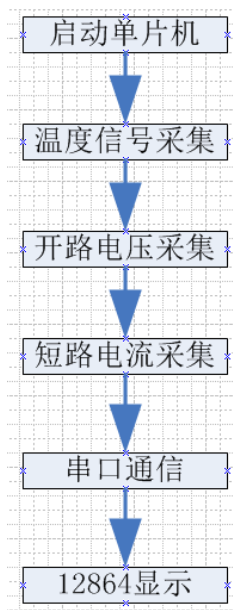


图 4.1 系统软件流程图

在图 4.1 中，由于温度信号的采集比较简单，用时也较少，因此，本系统首先完成温度信号的采集，采集到的温度信号存放在单片机的存储器中；然后，进行被测太阳能电池路端电压和电流的采集，在采集过程中，由于短路电流和开路电压的采集受继电器的控制，因此分别控制两路继电器分开进行，完成采集后，数据也可存放到单片机的存储器中，系统设置了一个 LED 灯，如果一次采集过程完成，则 LED 灯点亮，告知测试人员采集过程已结束，可以进行 LCD1602 显示了。

4.2 温度测试模块软件设计

温度测试采用的是 DS18B20 传感器，DS18B20 采用了独特的单总线方式，即 DS18B20 与主机相连只需要一条口线就可以实现两者之间的双向通讯。由于这种特殊的总线方式，在使用 DS18B20 时要严格的遵守其时序规则，否则将不能得到想要的结果。

DS18B20 的工作原理：

DS1820 对读写的数据位有着严格的时序要求，因为 DS18B20 是在一根输入/输出线可读写数据。因此，DS18B20 必须遵循非常严格的通信协议才能保证传输的数据完整性

和不会丢失数据。该协议定义了 4 种信号的时序:初始化时序、读时序、写时序。

为了能够正确采集到输入输出上的低电平变化,单总线则要求低电平必须拉低最少 60us, 这样就能确保温度传感器在 15us 到 45us 之间采集到低电平。为了采集到高电平则要求单总线必须在 15us 内释放才能做到。

DS18B20 的输出特性:

DS18B20 只有一个引脚实现输入输出功能,其内部有 A/D 转换器,以串行输出的方式将数字信号传送给单片机。

DS18B20 有四个主要的数据部件:

(1)为了一根总线上挂接多个 DS18B20,可通过光刻 ROM 来达到区分不同的 DS18B20 的目的。光刻 ROM 中的 64 位序列号被看作为 DS18B20 的地址序列码,当然这个序列号在出厂前已经被光刻好。64 位光刻 ROM 的序列号按顺序排列分别表示:产品类型号、DS18B20 自身的序列号、前面位数的循环冗余校验码,它们分别所占的位数是:8 位、48 位、8 位。

(2) DS18B20 中温度传感器的作用是实现对温度的测量,下面为一个实现 12 位转化的例子:表达式的形式为 $0.06250^{\circ}\text{C}/\text{LSB}$,其中 S 代表符号位,提供了二进制补码读数形式如表 4.1 所示,完成 16 位符号的扩展。

表 4.1 DS18B20 温度值格式表

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
LS Byte	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}
	bit 15	bit 14	bit 13	bit 12	bit 11	bit 10	bit 9	bit 8
MS Byte	S	S	S	S	S	2^6	2^5	2^4

DS18B20 的两个 8 比特 RAM 中存储了经过 12 位转化后得到的 12 位数据如表 4.2 所示,其中二进制中的前 5 位代表符号位,当这 5 位都为 1,即测得的温度小于 0,要得到实际温度,只需将测得的数值取反加 1 再乘以 0.0625 即可;相反,当这 5 位都是 0,那么我们得到的温度大于 0,要想获得实际温度,只需要将测得的数值直接乘以 0.0625 即可。

表 4.2 DS18B20 的温度数据表

温度 $^{\circ}\text{C}$	数据输出(二进制)	数据输出(十六进制)
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h

(1) DS18B20 温度传感器的存储器

DS18B20 内部包含两个 RAM,一个是存放高温触发器(TH)和低温触发器(TL)以及结构寄存器的非易失性可电擦除的 EEPRAM,另一个 RAM 是高速暂存。

（2）配置寄存器

它字节相应位的意义如下表 4.3 所示。

表 4.3 配置寄存器的结构

TM	R1	R0	1	1	1	1	1
----	----	----	---	---	---	---	---

DS18B20 的测试模式和工作模式的选择是通过 TM 设置的，如果低五位一直都“1”时那么则是测试模式位。我们无需改动 DS18B20 出厂时该位被设置为 0，其分辨率的设置是通过 R1 和 R0 来设置，如下表 4.4 所示。

表 4.4 温度分辨率设置表

R1	R0	分辨率	温度最大转换时间
0	0	9 位	93.75ms
0	0	10 位	187.5ms
1	0	11 位	375ms
1	1	12 位	750ms

DS18B20 工作过程的时序如下：初始化、ROM 操作命令、存储器操作命令。

（1）初始化

单总线程序上的所有操作都是从初始化开始的。时序图如图 4.2 所示， t_0 时刻主机发出一个复位脉冲（低电平，最短 480 μ s）， t_1 时刻再释放该线进入接收状态，DS18B20 在检测到上升沿信号后，等待 15-60 μ s，最后在 t_2 时刻拉低电平并持续 60-240 μ s。

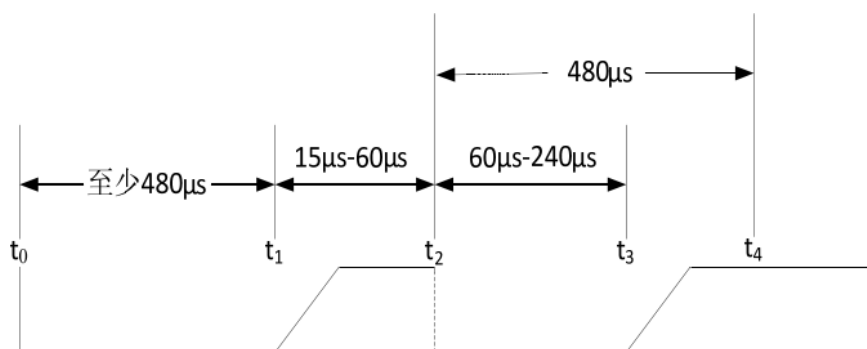


图 4.2 DS18B20 初始化时序图

（2）ROM 操作命令

当总线接受到存在脉冲后，可以发出表 4.5 中的 ROM 指令，对 DS18B20 进行操作。这些指令都是 8 位的，主要用于判断当前总线下挂的从机类型和数量，以及在多个从机情况下选择一特定的从机。

（3）存储器操作命令

当完成 ROM 操作后，可以对 DS18B20 发出表 4.6 中的操作指令，存储器操作指令实现了处理器对 DS18B20 的处理，主要用于读写传感器存储器，获取温度转换结果等。

表 4.5 DS18B20 ROM 操作指令

指令	代码
Read ROM(读 ROM)	33H
Match ROM(匹配 ROM)	55H
Skip ROM(跳过 ROM)	CCH
Search ROM(搜索 ROM)	F0H
Alarm search(告警搜索)	ECH

表 4.6 DS18B20 存储器操作命令

指令	代码
Write Scratchpad(写暂存存储器)	4EH
Read Scratchpad(读暂存存储器)	BEH
Copy Scratchpad(复制暂存存储器)	48H
Convert Temperature(温度转换)	44H
Recall EPROM（重新调用）	B8H
Read Power supply（读电源）	B4H

需要注意除了启动传感器的时序外,处理器进行读写传感器数据时,仍然要注意时序,关于读写的时序如图 4.3 和图 4.4 所示。

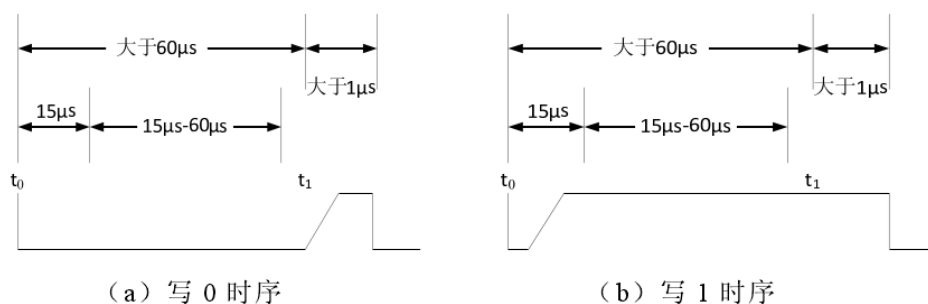


图 4.3 写时序

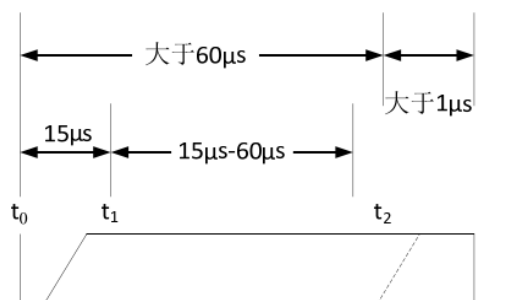


图 4.4 读时序

根据以上对于 DS18B20 的介绍,可以设计出温度测试模块的整体流程图,如图 4.5 所示。

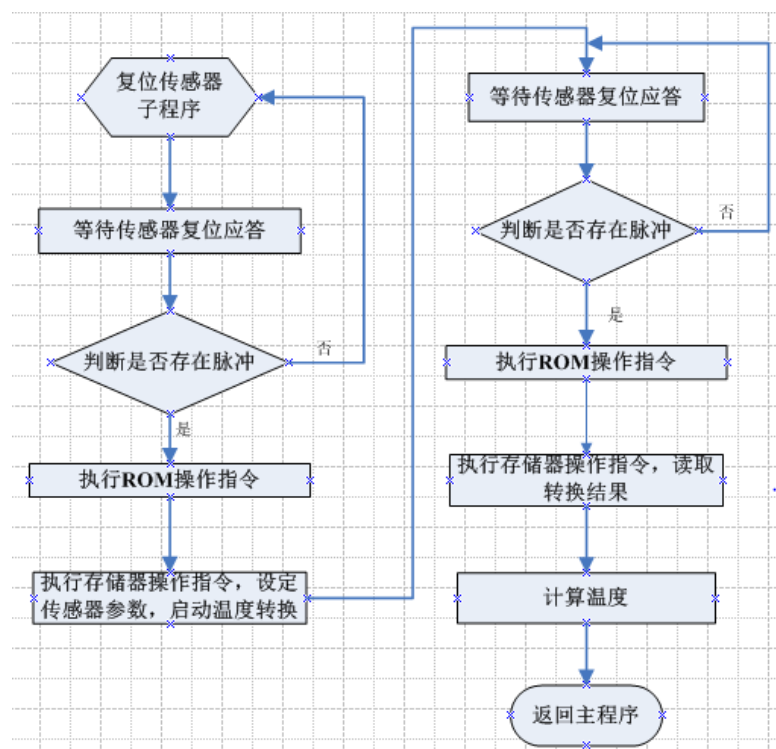


图 4.5 温度测试模块流程图

4.3 A/D 转换模块软件设计

4.3.1 STC15F2K60S2 的 A/D 转换

STC15F2K60S2 芯片中集成了 8 通道 10bit A/D 转换，采用逐次比较方式进行 A/D 转换，速度可以达到 300kHz。通过测试，与普通的外部 A/D 转换器件相比具有，速度快，性能稳定，占用端口少等优点。

STC15F2K60S2 的 A/D 转换为逐次比较型，转换器由 1 个比较器和一个 D/A 转换器组成，启动后，比较寄存器清零，然后通过逐次比较逻辑，从比较寄存器的最高位开始对数据置 1，并将比较寄存器数据经 D/A 转换器转换为模拟量，与输入模拟量进行比较，若 D/A 转换后的模拟量小于输入模拟量，保留数据位为 1，否则清 0 数据位；依次对下一位数据置 1，重复以上操作，直至最低位为止，A/D 转换结束，存储转换结果，发出转换结束标志。逐次比较式 A/D 转换器具有转换精度高，速度快等优点。

STC15F2K60S2 单片机片内 AD 转换器的参考电压源就是输入工作电源 V_{cc} ，无专门 A/D 参考电压输入通道。如果 V_{cc} 不稳定，如电池供电系统中，电压常常在 5.3~4.2V 之间漂移，则可以在 8 路 AD 转换通道的任一通道上接入一个基准电源，以此计算出此时工作电压 V_{cc} ，再计算其他输入其他通道的模拟输入电压。

STC15F2K60S2 单片机片内 A/D 转换器相关的特殊功能寄存器如表 4.14 所示，包 A/D 功能设置寄存器 P1ASF、A/D 转换控制寄存器 ADC_CONTR、A/D 转换结果寄存器 ADC_RES 和 ADC_RESL 等

表 4.7 与 A/D 转换器相关的特殊功能寄存器

寄存器名	地址	MSB	位地址及位名称							LSB	复位值
P1ASF	9DH	9	P17ASF	P16ASF	P15ASF	P14ASF	P13ASF	P12ASF	P11ASF	P10ASF	0000 0000
ADC_CONTR	BCH	B	ADC_POWER	SPEED1	SPEED0	ADC_FLAG	ADC_START	CHS2	CHS1	CHS0	0000 0000
CLK_DIV	97H	97	MCKO_S1	MCKO_S0	ADRJ	Tx_Rx		CLKS2	CLKS1	CLKS0	x000 x000
ADC_RE_S	B	B	A/D 转换结果的高 8 位（或高 2 位）								0000 0000
ADC_RE_SL	B	B	A/D 转换结果的高 2 位（或高 8 位）								0000 0000

P1ASF 的 8 个控制位与 P1 口的 8 个口线是一一对应的，即 P1ASF.7~P1ASF.0 对应控制 P1.7~P1.0，为“1”，对应 P1 口口线为 ADC 的输入通道；为“0”，其它 I/O 口功能。P1ASF 的格式如下：

	地址	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	复位值
P1ASF	9DH	P17ASF	P16ASF	P15ASF	P14ASF	P13ASF	P12ASF	P11ASF	P10ASF	0000 0000

ADC 控制寄存器 ADC_CONTR 主要用于选择 ADC 转换输入通道、设置转换速度以及 ADC 的启动、记录转换结束标志等。ADC_CONTR 的格式如下：

	地址	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	复位值
ADC_CONTR	BCH	ADC_POWER	SPEED1	SPEED0	ADC_FLAG	ADC_START	CHS2	CHS1	CHS0	0000 0000

SPEED1、SPEED0 位用于选择 A/D 转换速度，如图 4.6 所示。

图 4.6 A/D 转换速度选择

SPEED1	SPEED0	A/D 转换所需时间（系统时钟周期）
0	0	90
0	1	180
1	0	360
1	1	540

ADC_START 位为 A/D 转换启动控制为，ADC_START=1 启动 A/D 转换，结束后自动清零。

CHS2、CHS1、CHS0 位用于 A/D 转换器模拟量输入通道 选择，如图 4.7 所示。

图 4.7 模拟输入通道选择

CHS2	CHS1	CHS0	ADC 输入通道
0	0	0	ADC0 (P1.0)
0	0	1	ADC1 (P1.1)
0	1	0	ADC2 (P1.2)
0	1	1	ADC3 (P1.3)
1	0	0	ADC4 (P1.4)
1	0	1	ADC5 (P1.5)
1	1	0	ADC6 (P1.6)
1	1	1	ADC7 (P1.7)

4.3.2 A/D 转换程序流程图

通过 P1 通道进行 A/D 转换，将转换后的 10 位二进制数读取到单片机中。首先打开 ADC 电源，设置输入通道为 P1.3、P1.4，开启延时，启动 P1.4 口 A/D 转换，等待 A/D 转换结束，清零 A/D 转换结束标志位，保存 A/D 转换结果到寄存器；进行 P1.3 口 A/D 转换，等待转换结束，比较是否超过 5V 上线（2 进制数为 1111111111），若超过则改变增益负载电阻 Rg，再次进行 A/D 转换，若符合转换要求，结束转换，保存 A/D 转换结果到寄存器，返回主程序。其转换流程如图 4.8 所示。

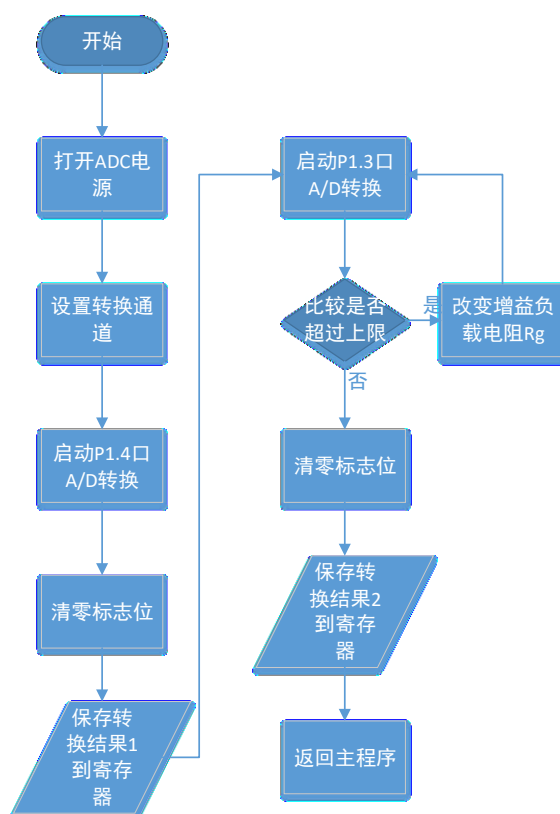


图 4.8 A/D 转换流程图

4.4 LCD1602 显示模块

LCD1602:所谓的 1602 既是 16 字符*2 行的字符型显示器,它由 32 个字符点阵块组成,每个字符点阵块由 5*7 或 5*10 个点阵组成,可以显示 ASCII 码表中的所有可视的字符。它内置了字符产生器 ROM (CGROM)、字符产生器 RAM (CGRAM) 和显示数据 RAM (DDRAM)。CGRAM 内置了 192 个常用字符的字模,CGRAM 包含 8 个字节的 RAM,可存放用户定义的字符,DDRAM 就是用来寄存待显示的字符代码。

1602 液晶显示器以其低功耗、体积小、内置内容丰富、超薄轻巧的诸多优点,在袖珍式仪表和低功耗应用系统中得到越来越广泛的应用。

1602液晶模块内部的控制器共有11条控制指令如图表4.8所示。

表4.8 界面工作四种模式

序号	指令	RS	R/W	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	清显示	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	光标返回	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*
3	置输入模式	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S
4	显示开/关控制	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B
5	光标或字符移位	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*
6	置功能	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*
7	置字符发生存储器地址	0	0	0	1	字符发生存储器地址					
8	置数据存储器地址	0	0	1	显示数据存储器地址						
9	读忙标志或地址	0	1	BF	计数器地址						
10	写数到 CGRAM 或 DDRAM)	1	0	要写的数内容							
11	从 CGRAM 或 DDRAM 读数	1	1	读出的数内容							

LCD1602模块使用并行连接方式,本系统读时序如图4.9所示,写时序如图4.10所示,LCD显示的流程图如图4.11所示。

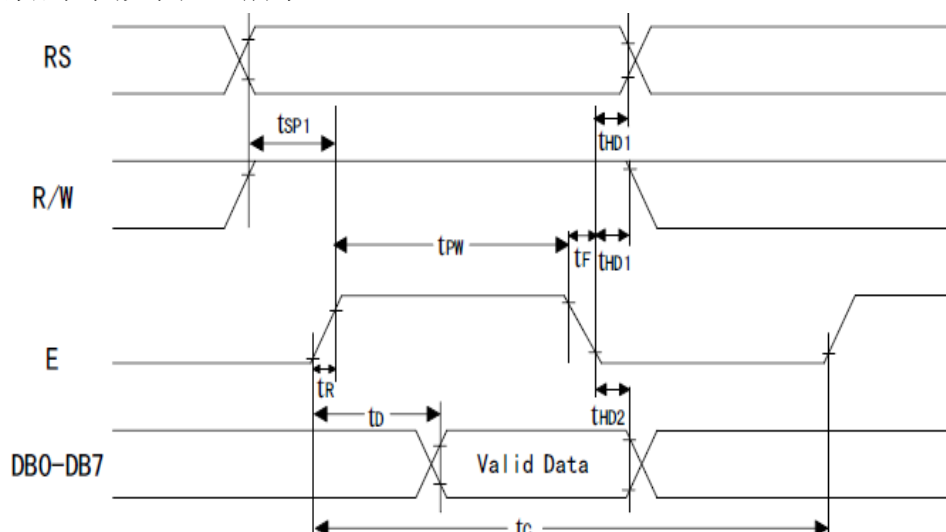


图4.9 读操作时序图

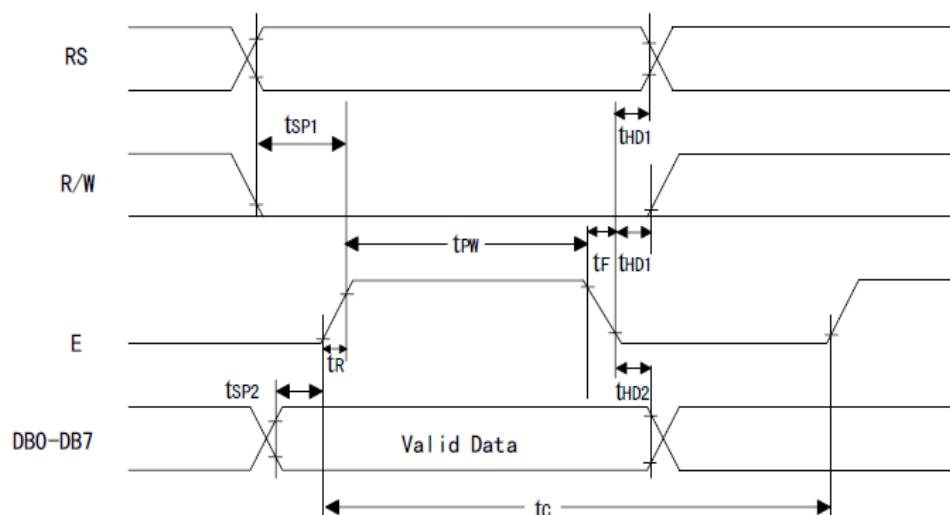


图4.10 写操作时序图

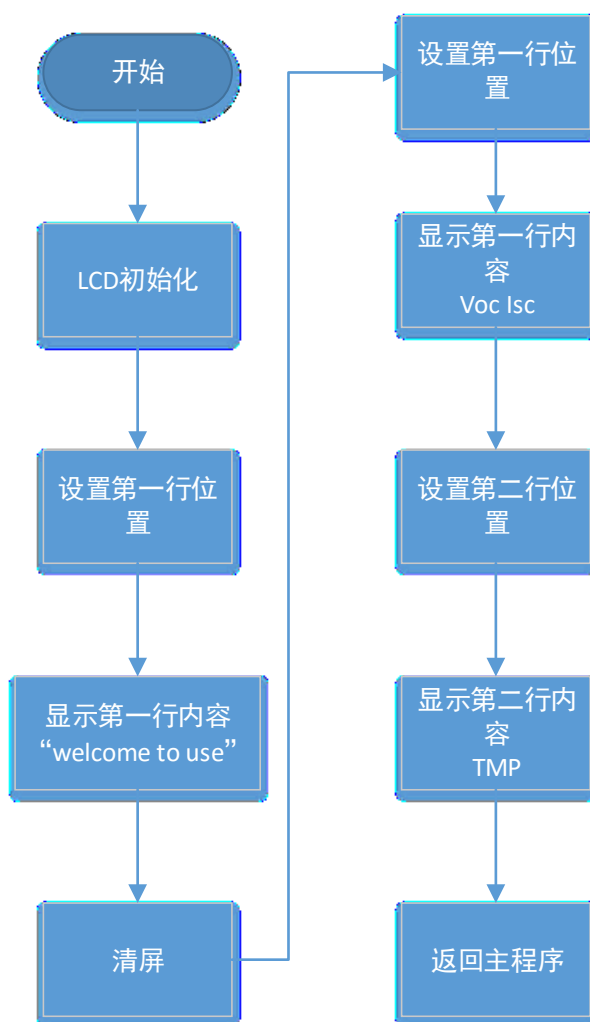


图 4.11 LCD1602 显示流程

4.5 本章小结

本章首先讨论了本系统整体的软件结构，分别对温度传感器 DS18B20 模块、A/D 转换电路模块、及显示电路模块 LCD1602 的初始化操作。最后，根据硬件电路，设计各模块的程序。

5 系统性能测试与分析

在整个系统设计完毕之后，分别对硬件和软件进行调试，以排除软、硬件故障对系统结果运行的影响，同时也可以对系统稳定性、可靠性进行分析、改进，同时优化设计方案。

系统测试分为硬件调试和软件调试两个方面，对软、硬件的调试都是分模块进行的。先搭建好硬件模块，在保证各电源极性和电压正确的前提下，对各模块分别加电，检查各模块中的器件是否运行完好，及时更换坏的器件。在检测硬件完好的基础上，开始调试软件。将程序编译成机器语言后写入芯片，检测各输出信号是否满足设计要求，如果出现不达标的情况，根据需要及时改变硬件电路中的相关元器件，或者修改软件程序，直到测试达到要求的结果。

5.1 系统调试

系统硬件和软件的调试可以相互独立的平行进行，软件调试可以在硬件完成之前，硬件也可以在没有完整软件的情况下进行调试，但它们都需要借助另外的调试工具提供调试环境。硬件和软件分别调试完成之后，还要对软件和硬件进行联调，在调试过程中找出问题，判断故障源，并修改软硬件。

在对系统进行实际调试如图 5.1，首先应对硬件进行静态调试，同时对系统软件进行初步调试，此后再对软件和硬件进行动态调试，最后才能使系统进入正常工作。

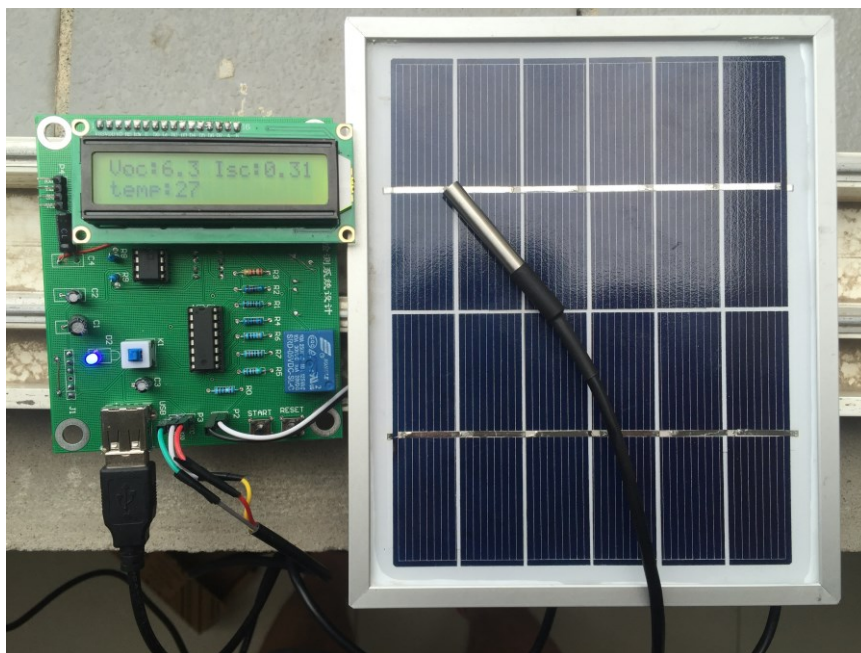


图 5.1 系统调试

5.2 结果分析

本文在前面介绍的晶体硅太阳能电池检测系统的设计原理基础上，搭建了一个基于本

文设计原理的试验电路板，并用该试验电路对一块晶体硅太阳能电池进行测试，在不同表面温度下为了研究并绘制了太阳能电池板的输出电压与表面温度的变化曲线如图 5.2 所示。

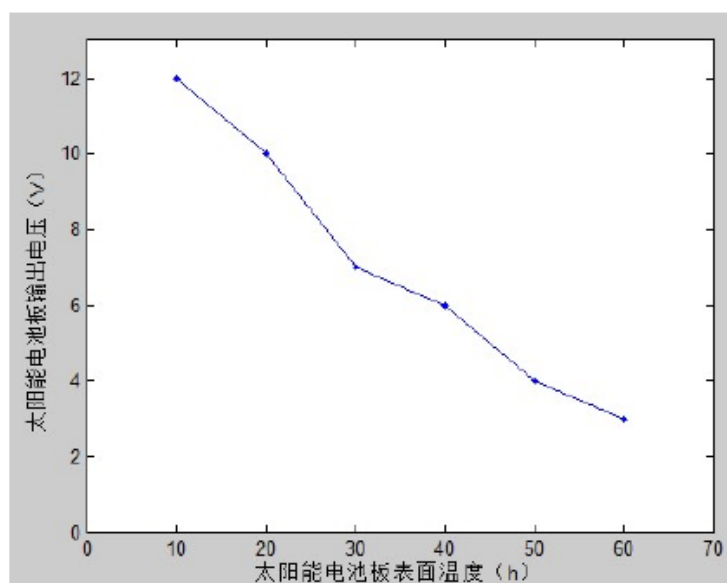


图 5.2 太阳能电池板输出电压与电池板表面温度的变化曲线

可以得出在一段光照固定的时间内，通过对太阳能电池板表面温度的改变，检测出不一样的温度下太阳能电池板的开路输出的电压，可得到当太阳能电池板输出电压与太阳能电池板表面温度的输出关系。得出当太阳能电池板表面温度增加时电池板的输出电压减小，二者成反比的关系。所以为了增大开路输出的电压我们就应该尽可能的降低太阳能电池板表面温度。

当保持太阳能电池板表面温度一定的情况下，改变太阳光照射强度时太阳能电池板的开路输出的电压的变化情况。如图 5.3 为太阳能电池板输出电压与太阳光照强度的变化曲线。

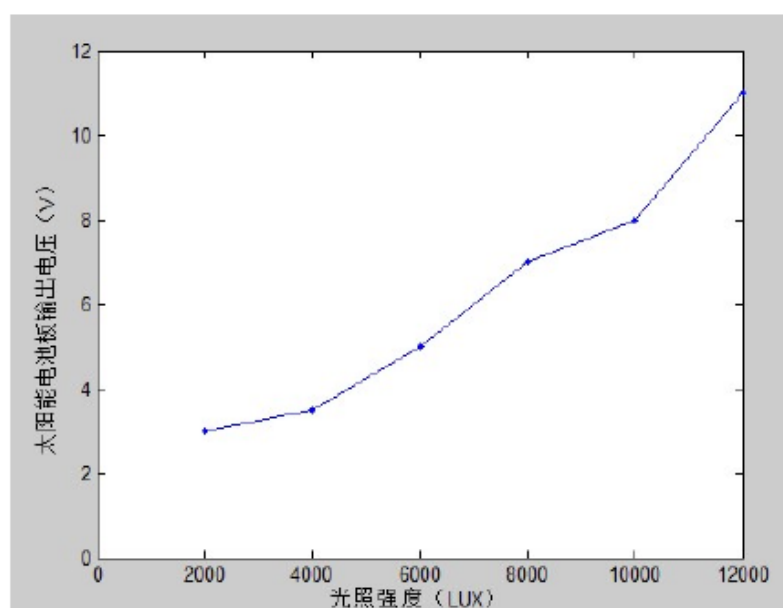


图 5.3 太阳能电池板输出电压与太阳光照强度的变化曲线

可以由上图得出当保持太阳能电池板表面温度一定的情况下，通过对太阳光照强度的改变，检测出不一样的光照强度下太阳能电池板的开路输出的电压，可得到当太阳光照强度与太阳能电池板输出电压的关系。得出当太阳光照强度增加时电池板的输出电压变大，二者成正比的关系。所以为了增大开路输出的电压我们就应该尽可能的增大太阳能电池板可以获取的光照强度。

当保持光的照射强度不变且电池板表面温度保持基本不变的情况下，改变光相对与电池板的照射角度时太阳能电池板的开路输出电压的变化情况。如图 5.4 为太阳能电池板输出电压与光相对于电池板照射角度的变化曲线。

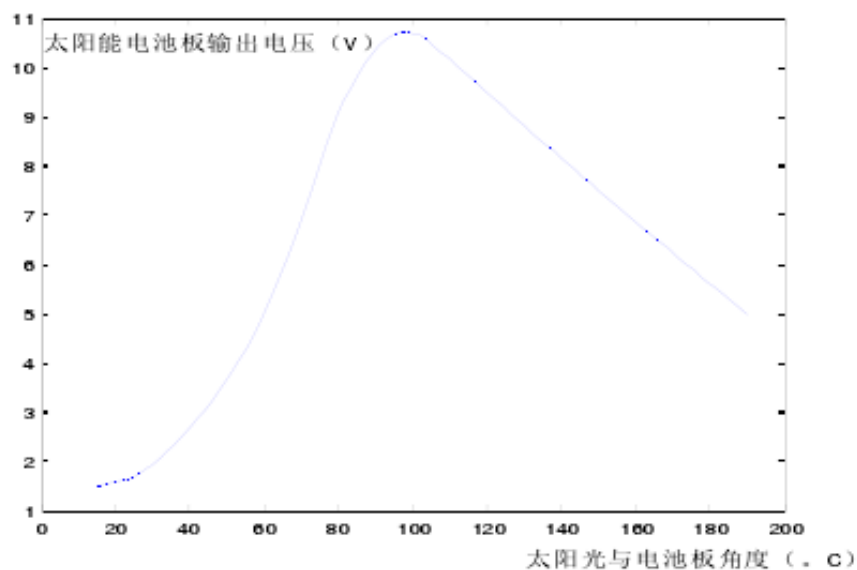


图 5.4 太阳能电池板输出电压与光相对于电池板照射角度的变化

由上图可以看出当光的照射角度相对于电池板的照射角度变化时，电池板的输出电压也会发生变化，且当阳光的照射角度与电池板垂直时电池板的输出电压最大。

5.3 抗干扰措施

太阳能电池板监测控制系统处于一个不是很稳定的环境，有很多磁场或者器件的干扰，可能导致该晶体硅太阳能电池板检测控制系统不能可靠的运行。因此我们需要采取一些措施，来尽可能减少或者消除干扰的存在。具体我们采取的抗干扰措施如下：

- (1) 在系统的电源设计中，在电源的输入端接入了去耦电容，滤除高频的干扰，改善电源波形；
- (2) 在电路板设计中，采用加粗地线宽度，来达到降低导线电阻的目的。本系统的电路板设计中，地线宽度为 30mil，普通导线宽度 10mil^[22]；
- (3) 为了提高系统的 EMC（电磁兼容性），在 PCB 的设计中采用大面积的敷铜，提高信号传输稳定性；
- (4) 在 PCB 设计中，采用了模块化设计，将 A/D 转换模块、继电器控制模块、中央处理器等模块进行了分区设计，切断干扰传播路径。

5.4 本章小结

本章首先在整个系统设计完后，分别对硬件和软件进行调试，以排除软、硬件故障对系统运行效果的影响；接着对从太阳光照强度和光相对于电池板照射角度对太阳能电池板输出电压进行分析；最后对晶体硅太阳能电池板检测控制系统的干扰因素进行分析和提出了相应的措施。本课题设计的检测系统进行了测试试验，同一块太阳能电池板测试结果大部分指标参数误差在 5% 以内，表明了课题采用方法的可行性，总体效果基本达到了预期目标。

6 总结与展望

6.1 工作总结

本文根据目前晶体硅太阳能电池板研究和工程实际的应用需要,以半导体物理学和晶体硅太阳能电池相关理论为基础及电子电路和单片机原理的相关知识,设计了一款基于单片机的晶体硅太阳能电池板检测系统,系统主要分为数据采集和处理结果显示两大部分,在数据采集部分的硬件电路中,使用继电器作为切换电路的开关,可以方便地通过软件控制电路的选择,来实现太阳能电池外接负载的自动变化,从而方便检测电路中的短路电流、开路电压值。经测试同一块太阳能电池板测试结果大部分指标参数误差在 5%以内,表明了本设计采用方法的可行性,总体效果基本达到了预期目标。

本次论文中所做的工作主要由以下几点:

(1)对太阳能电池板的应用范围以及重要意义做了简单介绍,讲述了本次检测系统的设计方案和基本框架;

(2)介绍了整个数据检测系统硬件电路的整体框图,并且分模块介绍了各个芯片的选择以及外围电路的连接;

(3)讲述了所用芯片的软件程序的编写,包括温度传感器程序、数模转换程序、多路开关控制负载电路程序、继电器切换电路程序、LCD1602 显示模块程序;

(4)对整个系统进行了性能的测试和分析。

通过实验得到的参数与理想参数对比,结果基本可以令人满意,基本上验证了该系统的可行性;通过这次太阳能电池检测系统的设计,自己在动手能力和实践能力有了很大的提高;同时在这次设计中所获得的知识和经验定将为自己今后的学习和工作打下坚实的基础。

6.2 工作展望

虽然系统基本可以达到我们的实验要求。但是为了达到更佳的效果,今后还可以从以下几点进行改进:

(1)太阳能电池板检测系统由于是在实验室中进行开发研究的所以不可避免的要受到经费和实验设备的限制,精度不是很高;

(2)由于新型晶体硅太阳能电池板检测系统设计为模型化设计,所以有些模块的灵敏度不是太高,在光照度发生细微的变化时可能变化不是很大,不能及时的把变化信息传递给中央处理器进行判断和辨识,从而不能及时更新检测数据。

随着世界经济的蓬勃发展,能源短缺与环境污染问题会更加迫切需要人们去解决^[23],太阳能光伏发电技术作为解决能源与环境问题的一种重要方式,会得到越来越多的重视,而光伏发电的核心器件太阳能电池板也会得到越来越多科研人员的关注,能够为太阳能电池板的分析评判提供重要依据的太阳能电池板检测系统也会发挥越来越大的作用。

参考文献

- [1] 黄庆举, 林继平, 魏长河, 等. 硅太阳能电池的应用与进展[J]. 2009, 24(6): 93-96.
- [2] 苏杰, 刘长青. 晶体硅太阳能电池用硅片制备工艺及关键技术[J]. 云南金. 2011(04).
- [3] [德]彼得 乌夫尔著, 陈红鱼, 匡代彬, 郭长娟译. 太阳能电池——从原理到概念[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [4] 史清风, 刘辛国, 吴杰. 光伏电池板输出特性的仿真及检验[J]. 微型机与用. 2012(23).
- [5] 齐文辉, 王宇鑫. 对伏安法测量太阳电池输出特性实验的研究[J]. 企业展. 2009(04).
- [6] 姜琳. 太阳能电池基本特性实验——一个与能源利用有关的综合设计性实验 [J]. 大学物理. 2005(06).
- [7] 吴杏华, 王庆凯, 王殿元. 光源对于太阳能电池基本特性测量实验影响的研究[J]. 九江学院学报. 2007(06).
- [9] 陈淑芳. 一种高精度数据采集系统模拟信号调理电路的设计[J]. 长沙铁道学院学报 (社会科学版). 2008(01).
- [10] 殷志华, 郑海, 杨浩. 单片机与PC机串口通信的实现[J]. 中国数据通信. 2004(01).
- [11] 杨坤德, 赵亚梅, 马远良. 高速大容量多通道数据采集系统设计[J]. 数据采集与处理. 2002(04).
- [12] 王力, 薛红喜. 多路开关状态检测[J]. 电子设计工程. 2011(14).
- [13] 赵伟英. 选择的要素分析——继电器控制系统的设计之一[J]. 知识窗. 2011(10).
- [14] 赵海兰, 赵祥伟. 智能温度传感器DS18B20的原理与应用[J]. 现代电子术. 2003(14).
- [15] 朱丽丽, 王长友. 基于AVR单片机与温度传感器DS18B20的多点温度测量[J]. 电工电气. 2010(12).
- [16] Adolf Goetzberger, Joachim Luther, Gerhard Willeke. Solar cells: pasrpresent, future. Solar energy materials and solar cells . 2002.
- [17] 朱定华. 单片机原理及接口技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [18] 贾好来. MCS-51 单片机原理及应用[M]. 北京机械工业出版社, 2006.
- [19] 赵浪涛, 赵永花. DS18B20芯片在温度测量系统中的应用[J]. 兰州工业高等专科学校学报. 2009(04).
- [20] Research and Design of an Agricultural Scientific Instruments Classification and Code Management System[A]. Computer and Computing Technologies in Agriculture V(Part II)[C]. 2011.
- [21] 赵道新, 李炳辰. 基于PCF8591的I²C总线多路温度测量系统[J]. 制造业自动化. 2013(05).
- [22] 杜天旭, 谢林柏. 仪器仪表的发展历程及趋势[J]. 重庆文理学院学报(自然科学版). 2009(04).
- [23] Nelson A. Kelly, Thomas L. Gibson. Improved photovoltaic energy output for conditions with a solar tracking sysetem[J]. Solar Energy. 2009(11).

致 谢

值此论文完成之际, 笔者首先要感谢导师杜玉军老师, 是在他悉心指导下完成的, 倾注着导师的心血和汗水。近三年来, 杜老师无论在学习、工作和生活上都给予笔者无微不至的关心和帮助, 杜老师渊博的学识, 严谨的治学态度和兢兢业业的工作作风无不使笔者受益匪浅, 受益终生! 杜老师不仅传授笔者知识, 还教会笔者获取知识的方法, 培养了笔者的创新意识, 使笔者具备了成为一名科研工作者的基本素质, 为笔者今后的工作和学习打下了坚实的基础, 在此, 笔者向杜玉军老师致以诚挚的敬意和由衷的感谢!

在本课题进行期间, 也感谢周琦、任飞、高翔、何生君等人对笔者的帮助, 使课题能够顺利地完成, 在此对他们表示感谢!

最后, 特别感谢笔者的家人对我的支持和鼓励, 是他们给笔者的浓浓的亲情帮助笔者顺利度过大学生涯!

毕业设计（论文）知识产权声明

本人完全了解西安工业大学有关保护知识产权的规定，即：本科学生在校攻读学士学位期间毕业设计（论文）工作的知识产权属于西安工业大学。本人保证毕业离校后，使用毕业设计（论文）工作成果或用毕业设计（论文）工作成果发表论文时署名单位仍然为西安工业大学。学校有权保留送交的毕业设计（论文）的原文或复印件，允许毕业设计（论文）被查阅和借阅；学校可以公布毕业设计（论文）的全部或部分內容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存毕业设计（论文）。

（保密的毕业设计（论文）在解密后应遵守此规定）

毕业设计（论文）作者签名：

指导教师签名：

日期：

毕业设计（论文）独创性声明

秉承学校严谨的学风与优良的科学道德，本人声明所呈交的毕业设计（论文）是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，毕业设计（论文）中不包含其他人已经发表或撰写过的成果，不包含他人已申请学位或其他用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了致谢。

毕业设计（论文）与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

毕业设计（论文）作者签名：

指导教师签名：

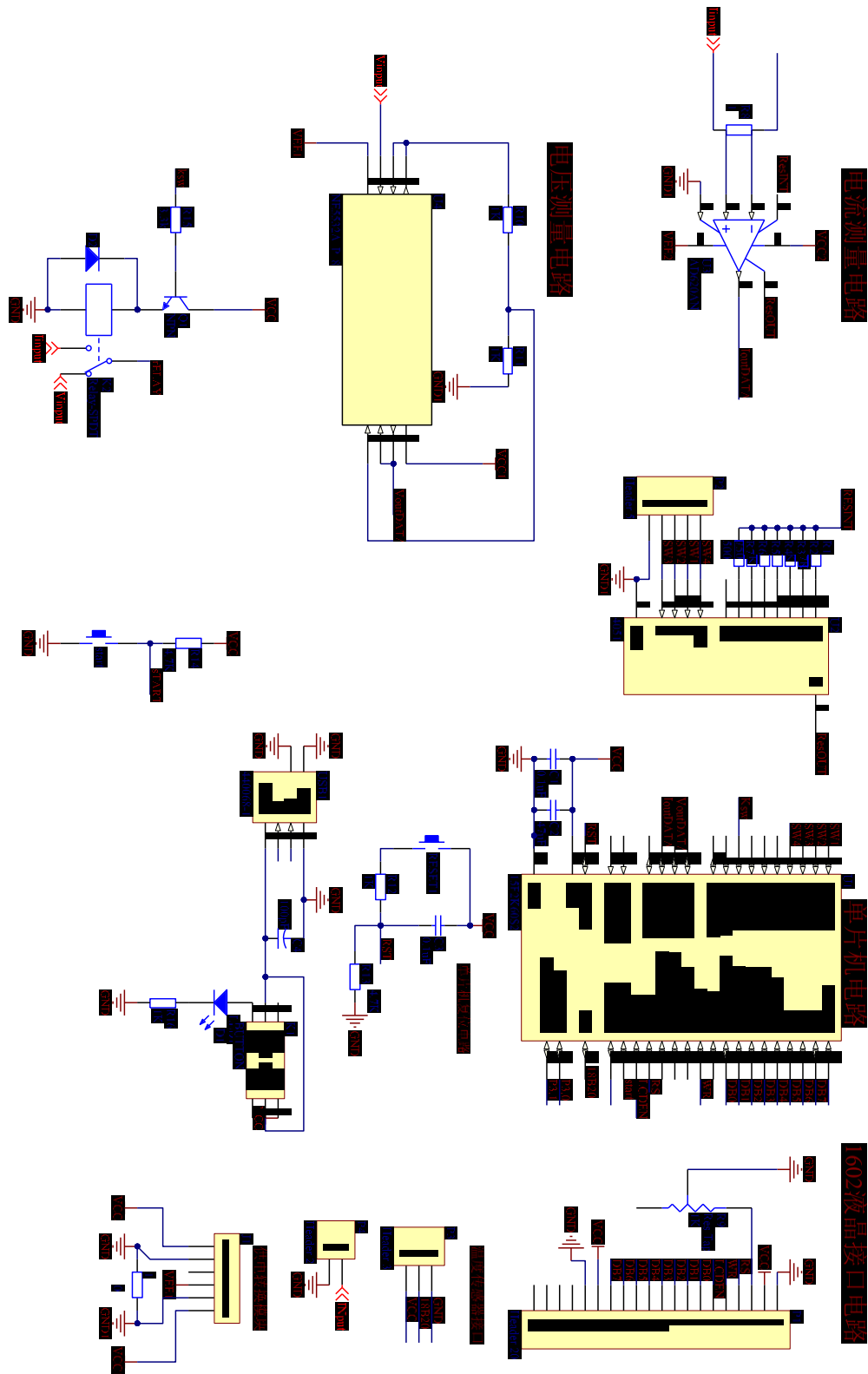
日期：

附 录

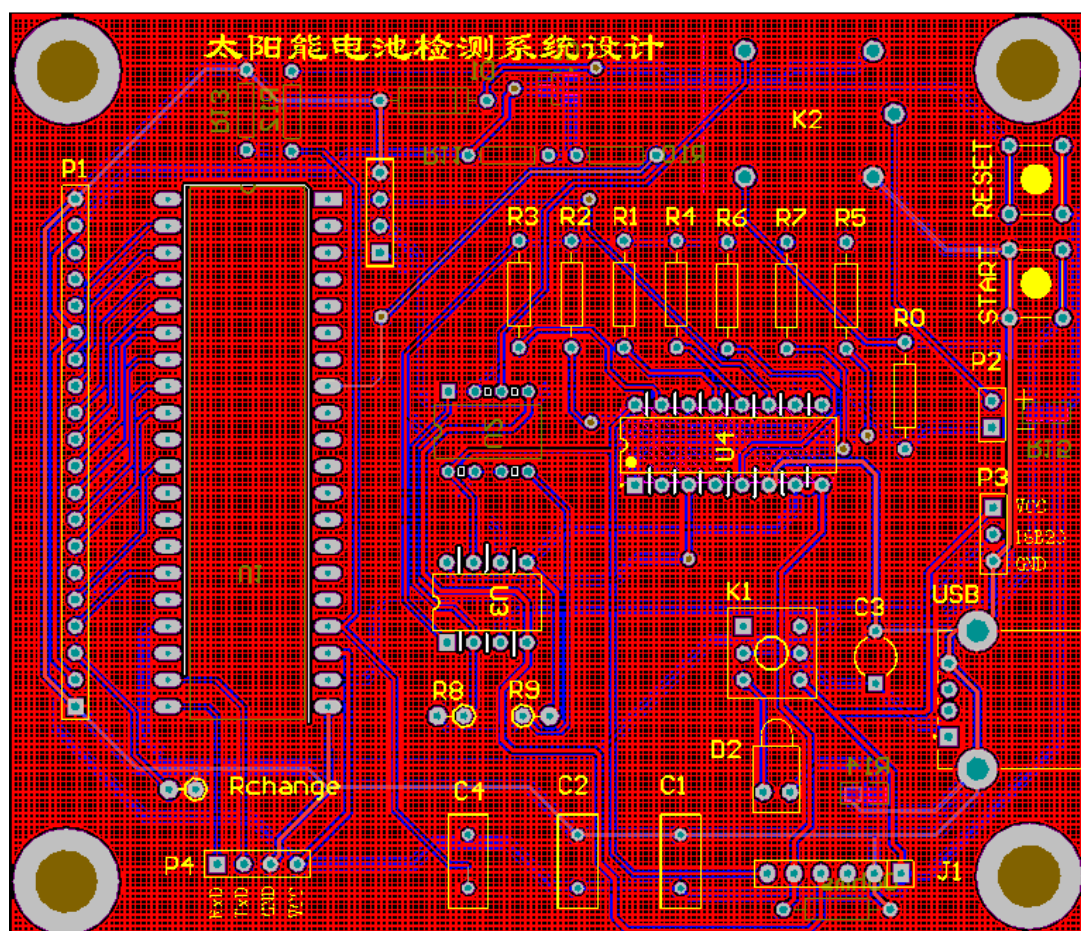
附录 1 系统所需的元器件清单

器件	型号	器件表示	器件数量	器件规格
电容	电解电容	C1、C3	2	0.1uF
电容	电解电容	C2	1	47uF
电容	电解电容	C4	1	100pF
电阻		R10、R11、R12、R16	4	1k
电阻		R13、R14、R15	3	4.7K
电阻	精密电阻	R1	1	10K
电阻	精密电阻	R2	1	5K
电阻	精密电阻	R3	1	2.7K
电阻	精密电阻	R4	1	1K
电阻	精密电阻	R5	1	500
电阻	精密电阻	R6	1	360
电阻	精密电阻	R7	1	120
电阻	精密电阻	R8	1	1
电阻	滑动变阻器	R9	1	105
单片机	STC15F2K60S2	U1	1	
运放	AD620AN	U3	1	
运放	NE5532	U4	1	
多路开关	CD4051BE	U2	1	
LCD	1602	P1	1	
DC-DC	AS0512-1W	J1	1	
二极管	1N4733	D2	1	
继电器	SRD-05VDC-SL-C	K2	1	5V DC
二极管	发光二极管	D1		
USB		USB	1	
插排	方形		若干	脚距 100mil
三极管	S8550	Q1	1	

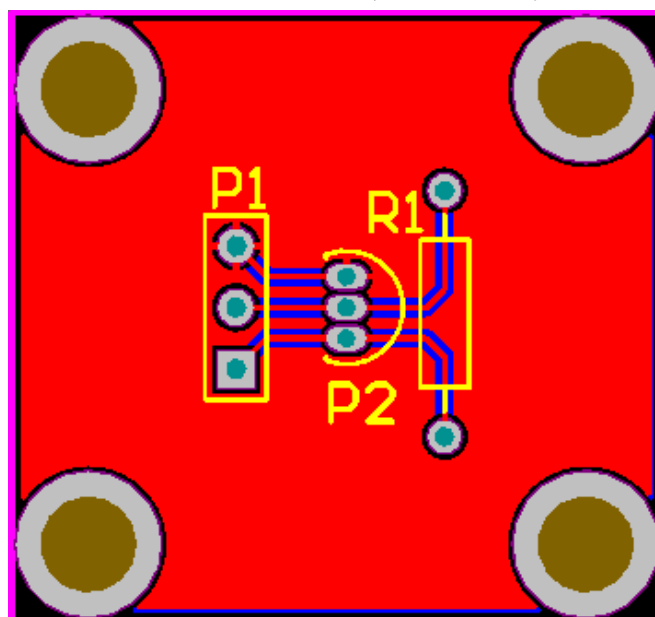
附录 2 系统 Altium Designer 电路原理图



附录 3 系统 PCB 原理图

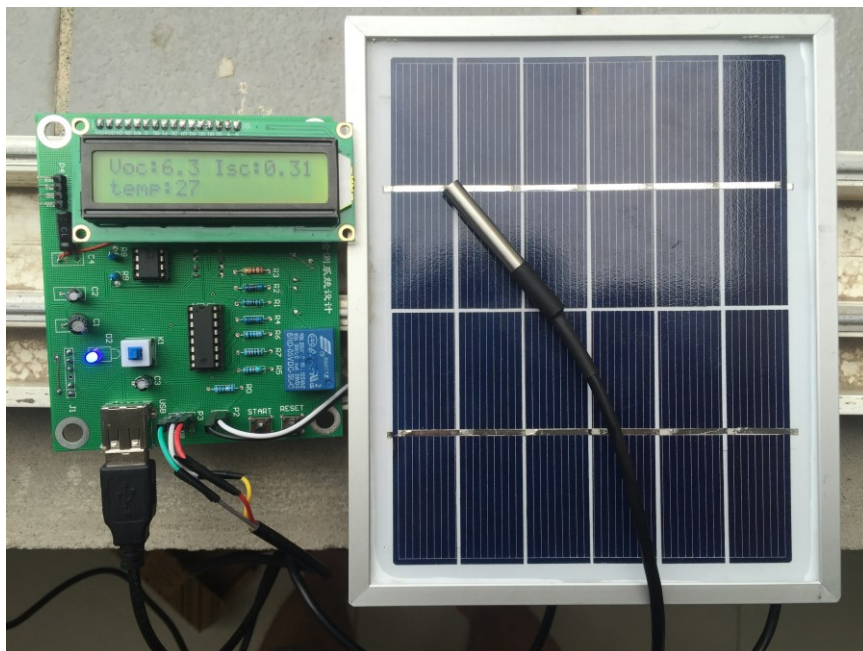


晶硅太阳能电池检测系统主板

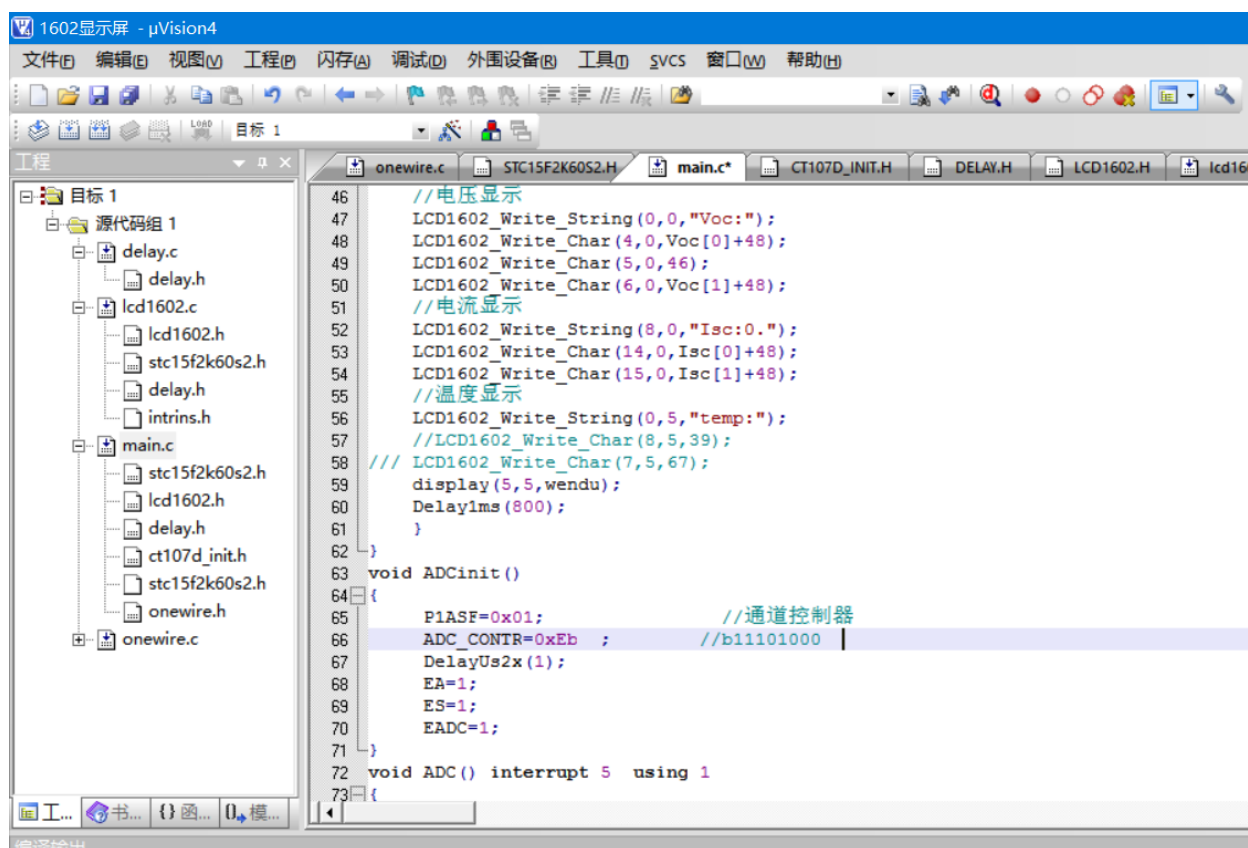


温度检测模块

附录 4 系统实物图及软件界面



太阳能电池检测系统实物



太阳能电池检测系统软件设计界面

附录 5 系统测试代码

```

/*****
/*
/*          太阳能检测系统测试代码          */
/*
*****/

#include "stc15f2k60s2.h"
#include "lcd1602.h"
#include "ct107d_init.h"
#include "onewire.h"
void DelayUs2x(unsigned char t) ;
void ADCinit1();
void ADCinit2();
void Delay1ms(uint t);
sbit key=P3^3;
sbit SW1=P0^0;
sbit SW1=P0^1;
sbit SW1=P0^2;
uint ADdata1,ADdata2,Voc10,Voc[2],Isc100,Isc[2],shi,ge,wendu;
unsigned long temperature;
void main()
{
    Init1602();
    ADCinit1();
    while(key)
    {
        LCD1602_Write_String(0,0,"Welcome To Use");
    }
/*****
/*          信号计算          */
*****/

    while(1)
    {
        //温度获取与计算
        temperature=readtemp();
        temperature=temperature*625;
        shi=temperature/100000%10;
        ge=temperature/10000%10;
        wendu=shi*10+ge;
        //电压计算

```

```

Voc10=ADdata1*5*10/140;    //电压标定
Voc[0]=Voc10/10;
Voc[1]=Voc10%10;
//电流计算与增益变换
while(1)
{
if(ADdata2>255){SW1=0,SW2=0,SW3=0};
else{Isc6=ADdata2};
if(ADdata2>255){SW1=0,SW2=0,SW3=1};
else{Isc10=ADdata2};
if(ADdata2>255){SW1=0,SW2=1,SW3=0};
else{Isc20=ADdata2};
if(ADdata2>255){SW1=0,SW2=1,SW3=1};
else{Isc40=ADdata2};
if(ADdata2>255){SW1=1,SW2=0,SW3=0};
else{Isc80=ADdata2};
if(ADdata2>255){SW1=1,SW2=0,SW3=1};
else{Isc120=ADdata2};
if(ADdata2>255){SW1=1,SW2=1,SW3=0};
else{Isc200=ADdata2};
}
Isc6=ADdata2*5*10/255/13/6;
Isc10=ADdata2*5*10/255/13/10;
Isc20=ADdata2*5*10/255/13/20;
Isc40=ADdata2*5*10/255/13/40;
Isc80=ADdata2*5*10/255/13/80;
Isc100=ADdata2*5*10/255/13/100;
Isc120=ADdata2*5*10/255/13/120;
Isc200=ADdata2*5*10/255/13/200;
Isc0=Isc*10/20;
Isc[0]=Isc*/10;
Isc[1]=Isc0%10;
//电压显示
LCD1602_Write_String(0,0,"Voc:");
LCD1602_Write_Char(4,0,Voc[0]+48);
LCD1602_Write_Char(5,0,46);
LCD1602_Write_Char(6,0,Voc[1]+48);
//电流显示
LCD1602_Write_String(8,0,"Isc:0.");
LCD1602_Write_Char(14,0,Isc[0]+48);
LCD1602_Write_Char(15,0,Isc[1]+48);
//温度显示

```

```

    LCD1602_Write_String(0,5,"temp:");
    //LCD1602_Write_Char(8,5,39);
/// LCD1602_Write_Char(7,5,67);
    display(5,5,wendu);
    Delay1ms(800);
}
}
void ADCinit()
{
    P1ASF=0x01;           //通道控制器
    ADC_CONTR=0xEb ;      //b11101000
    DelayUs2x(1);
    EA=1;
    ES=1;
    EADC=1;
}
void ADC() interrupt 5 using 1
{
    ADC_CONTR&=!0x10;      //清楚 AD 中断标准位
    ADdata1=ADC_RES1;      //采集 AD 转换数据      获取电压值
    ADdata2=ADC_RES2;
    ADC_CONTR=0xEb ;
}
/*****
/*                          温度检测                          */
*****/
//单总线延时函数
void delay_onewire(unsigned int t)
{ unsigned char i;
  while(t--)
  {
    for(i=0;i<12;i++);
  }
}

//DS18B20 芯片初始化
bit Init_DS18B20(void)
{
    bit initflag = 0;
    DQ = 1;
    delay_onewire(12);
    DQ = 0;
}

```

```
    delay_owewire(80);
    DQ = 1;
    delay_owewire(10);
    initflag = DQ;
    delay_owewire(5);

    return initflag;
}

//通过单总线向 DS18B20 写一个字节
void Write_DS18B20(unsigned char dat)
{
    unsigned char i;
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        DQ = 0;
        DQ = dat&0x01;
        delay_owewire(5);
        DQ = 1;
        dat >>= 1;
    }
    delay_owewire(5);
}

//从 DS18B20 读取一个字节
unsigned char Read_DS18B20(void)
{
    unsigned char i;
    unsigned char dat;

    for(i=0;i<8;i++)
    {
        DQ = 0;
        dat >>= 1;
        DQ = 1;
        if(DQ)
        {
            dat |= 0x80;
        }
        delay_owewire(5);
    }
    return dat;
}
```

```

}

int readtemp ()
{
    uchar temph,templ;
    int temp;

    Init_DS18B20();
    Write_DS18B20(OW_SKIP_ROM);
    Write_DS18B20(DS18B20_CONVERT);
    delay_onewire(200);
    Init_DS18B20();
    Write_DS18B20(OW_SKIP_ROM);
    Write_DS18B20(DS18B20_READ);
    IE2&=~(1<<2);
    templ=Read_DS18B20();
    temph=Read_DS18B20();
    IE2|=1<<2;
    temp=temph;
    temp<<=8;
    temp=temp|templ;
    return temp;
}

/*****

                        延时程序

*****/

void Delay1ms (uint t)
{
    while(t--)
    {DelayUs2x (250);
      DelayUs2x (250)  ;
      DelayUs2x (250);
      DelayUs2x (250)  ;}
}

void DelayUs2x(unsigned char t)    //us 延时   24MHZ
{
    while(--t);
    while(--t);
}

```