



普通高等教育“十三五”规划教材
电工电子国家级实验教学示范中心系列教材

Electronic Information
Innovation

■ 电子信息类综合创新实践系列教材



单片机原理 实验教程

◎ 秦晓梅 王开宇 主 编

◎ 巢 明 赵权科 副主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电工电子国家级实验教学示范中心系列教材

单片机原理实验教程

主 编 秦晓梅 王开宇

副主编 巢 明 赵权科

孙 鹏 商云晶 程春雨

参 编

姜艳红 陈育斌

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书按不同层次、不同要求设置实验内容,其中验证性实验内容与课程内容同步对应,可以巩固相关理论知识;设计性实验内容具有一定的工程应用价值。本书中的每个实验都分为验证性实验和思考题编程两部分。验证性实验的实验电路及实验程序已经给出,便于读者学习;思考题编程则需要读者在验证性实验的基础上进行适当修改并独立编写出所要求的程序。这种方法有利于读者更好地掌握和灵活地运用单片机的相关知识,并且培养读者发现、分析和解决问题等实践创新能力。

本书既可作为高等院校电子信息类、电气信息类及相近专业电路课程配套的实验教材,也可供相关领域的人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理实验教程/秦晓梅,王开宇主编. —北京:电子工业出版社,2019.3

ISBN 978-7-121-35592-9

I. ①单… II. ①秦… ②王… III. ①单片微型计算机—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第261052号

策划编辑:竺南直

责任编辑:底波

印刷:北京捷迅佳彩印刷有限公司

装订:北京捷迅佳彩印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:19.75 字数:505.6千字

版次:2019年3月第1版

印次:2019年6月第2次印刷

定价:49.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: davidzhu@phei.com.cn。

前言

本书是配合本科生单片机教学而编写的实验教材，侧重基本知识与概念，强调程序的调试过程，注重开发学生分析问题与解决问题的能力，培养学生的创新实践与工程设计的能力。本书采用 Keil 集成调试软件，对于学习 MCS-51 单片机具有一定的参考价值。

本书中的每个实验内容包含了相关模块的知识点分析、相关 SFR 初始化方法以及应用电路和编程思想的描述，读者可以参考在实验台上的实际电路以及对应的程序来进一步加深对内容的理解和掌握。本书中每个实验都分为验证性实验和思考题编程两部分。前者的实验程序已经给出，便于读者学习、掌握；后者则需要读者在验证性实验的基础上进行适当修改，独立编写出所要求的程序，这种方法有利于读者更好地掌握和灵活地运用单片机的相关知识。

汇编语言是一个面向单片机底层硬件的设计语言。从存储器（RAM、ROM 等）的单元寻址到程序的结构设计，严格而确切，是初学者最好的学习途径。本书所有的实验例程均采用汇编语言和 C 语言两种方式编程，给读者提供更多的选择。

本书的内容如下。

第 1 章对实验系统的硬件和软件调试平台的运行模式进行了描述。

第 2 章介绍了 Keil C51 的使用步骤及不同的调试方法。

第 3 章介绍了 MCS-51 系列单片机的主要特征、最小系统的概念及组成。

第 4 章以 MCS-51 单片机内部各个功能模块为基础，描述了存储器、并行接口、定时器、中断系统、串行接口等单片机内部基本模块的组成、工作原理、初始化方法及其对应的大量的编程实验。本章包含直流电动机的 PWM 调速、调向，LED 数码管动态扫描和矩阵键盘电路的程序设计，步进电动机控制，电子琴设计，12864 液晶显示模块的应用，单总线接口温度采集技术，SPI 接口的 A/D 与 D/A 转换器接口芯片及编程实验，I²C 总线接口芯片的模拟编程等。本章还包含 Wi-Fi 通信模块、ZigBee 通信模块和蓝牙模块等现代通信技术的实验内容。

第 5 章介绍了远程实体操控实验应用举例。

第 6 章介绍了基于实验系统上的综合设计题目。

附录提供了 MCS-51 单片机模拟 I²C 总线通信子程序、MCS-51 单片机指令系统一览表、综合设计报告书样板示例等，这些资料可以供读者在实验编程时参考。

对于单片机的学习，我们强调两点：一是注重理论，掌握单片机内部的存储单元寻址、功能模块的组成结构和工作原理及特殊功能寄存器的初始化等；二是上机实践，一个好的程序不是写出来的，只有经过不断上机调试、寻找程序中的错误，才能将程序的功能完善。所以学习单片机没有任何捷径可走，需要熟练地阅读、编写程序，在调试程序的过程中培养一种认真、坚韧的作风，而这个过程是每位读者不能回避的重要环节。

工程技术人员也可以参考本书学习 MCS-51 单片机，在自己动手设计的 PCB 上进行编程实践。我们也建议有条件的读者自己设计、搭建一个“单片机最小系统”，以提高动手实践的能力，深化学习效果。

本书由秦晓梅、王开宇主编，巢明、赵权科副主编，孙鹏、商云晶、程春雨、姜艳红、陈育斌参编，其中秦晓梅和巢明完成了第 4 章的编写，王开宇完成了第 1 章的编写，程春雨完成了第 2 章的编写，其余各章由秦晓梅编写，赵权科、孙鹏、商云晶、姜艳红、陈育斌也

参与了部分书稿的讨论、撰写工作，秦晓梅和王开宇完成了统稿工作。感谢金明录教授、盛贤君教授、王宁副教授和张立勇老师仔细审阅了初稿，并且提出了宝贵的修改意见。在编写本书的过程中也参考了大量书籍及网上资料，同时还得到了南京润众科技有限公司陆辉总经理的协助，在此一并表示感谢。

本书所给出的实验参考程序在实验台上均已调试通过。由于编者水平有限, 书中难免有疏漏和不足之处, 敬请读者批评指正。

编者

目 录

第1章 单片机实验系统简介	(1)
1.1 实验系统的构成	(1)
1.1.1 硬件调试平台	(1)
1.1.2 软件调试平台	(3)
1.2 实验台各个功能模块介绍	(4)
第2章 Keil C51 集成调试软件使用简介	(24)
2.1 模拟仿真模式	(24)
2.2 在线调试模式	(36)
2.3 在线调试步骤速查表	(38)
第3章 MCS-51 (AT89C51) 单片机的基本结构及最小系统	(40)
3.1 MCS-51 单片机内部的基本结构及特点	(40)
3.1.1 MCS-51 单片机的基本结构	(40)
3.1.2 MCS-51 单片机的主要特点	(40)
3.1.3 MCS-51 单片机的存储器配置	(42)
3.1.4 MCS-51 单片机的特殊功能寄存器	(44)
3.2 MCS-51 系列单片机常用产品型号及主要规格	(47)
3.2.1 常见的 MCS-51 系列单片机型号	(47)
3.2.2 MCS-51 单片机的引脚定义	(47)
3.3 MCS-51 单片机的最小系统	(48)
第4章 MCS-51 (AT89C51) 单片机基本结构及典型接口实验	(51)
4.1 MCS-51 单片机数据存储器 (RAM) 的结构及读写实验	(51)
4.1.1 知识点分析	(51)
4.1.2 存储器读写实验	(51)
4.2 MCS-51 单片机的并行接口结构及实验	(53)
4.2.1 知识点分析	(53)
4.2.2 MCS-51 单片机并行接口实验 (一): 输入、输出实验	(57)
4.2.3 MCS-51 单片机并行接口实验 (二): 流水灯驱动实验	(59)
4.2.4 MCS-51 单片机并行接口实验 (三): 直流电动机驱动实验	(61)
4.2.5 MCS-51 单片机并行接口实验 (四): 步进电动机驱动实验	(64)
4.2.6 MCS-51 单片机并行接口实验 (五): LED 数码管动态扫描驱动实验	(67)
4.2.7 MCS-51 单片机并行接口实验 (六): 12864 液晶显示模块驱动实验	(76)
4.3 MCS-51 单片机中断系统结构及外部中断/INT0 实验	(88)
4.3.1 知识点分析	(88)
4.3.2 MCS-51 单片机的外部中断实验 (一): /INT0 中断加 1 实验	(92)

4.3.3	MCS-51 单片机的外部中断实验 (二): 中断优先级实验	(95)
4.4	MCS-51 单片机的定时/计数器结构及实验	(99)
4.4.1	知识点分析	(100)
4.4.2	定时/计数器实验 (一): 秒定时实验	(103)
4.4.3	定时/计数器实验 (二): 蜂鸣器及蜂鸣器驱动实验	(106)
4.4.4	定时/计数器实验 (三): 简易电子琴设计实验	(109)
4.4.5	定时/计数器实验 (四): PWM 电路及直流电动机调速实验	(112)
4.4.6	定时/计数器实验 (五): 步进电动机调速实验	(116)
4.5	MCS-51 单片机的串行接口 SBUF 结构及实验	(119)
4.5.1	知识点分析	(119)
4.5.2	MCS-51 串行接口实验 (一): 单片机之间的点对点通信实验	(122)
4.5.3	MCS-51 串行接口实验 (二): 单片机与 PC 之间的通信实验	(126)
4.5.4	MCS-51 串行接口实验 (三): 通过蓝牙透传模块实现无线通信	(131)
4.5.5	MCS-51 串行接口实验 (四): 通过 Wi-Fi 透传模块实现无线通信	(135)
4.6	SPI 接口的 TLC549 串行 A/D 转换器接口芯片及编程实验	(140)
4.6.1	知识点分析	(140)
4.6.2	SPI 接口的 TLC549 串行 A/D 转换实验	(143)
4.7	SPI 接口的 TLC5620 D/A 转换器接口芯片及编程实验	(146)
4.7.1	知识点分析	(146)
4.7.2	TLC5620 实验: 双通道信号发生器	(149)
4.8	单总线接口 DS18B20 智能温度传感器的特点及编程实验	(154)
4.8.1	知识点分析	(154)
4.8.2	单总线接口 DS18B20 实验	(160)
4.9	单片机的同步串行接口及 I ² C 总线的结构、工作时序与模拟编程	(169)
4.9.1	知识点分析	(169)
4.9.2	I ² C 总线外围器件实验 (一): 24 系列 EEPROM 芯片 AT24C02 存储实验	(181)
4.9.3	I ² C 总线外围器件实验 (二): ZLG7290B 动态显示驱动芯片编程实验	(197)
4.9.4	I ² C 总线外围器件实验 (三): ZLG7290B 键盘扫描实验	(217)
4.9.5	I ² C 总线外围器件实验 (四): A/D 转换的十进制显示实验	(230)
4.9.6	I ² C 总线外围器件实验 (五): PCF8563T 低功耗时钟芯片编程实验	(244)
第 5 章	远程实体操控实验应用举例	(264)
第 6 章	单片机综合设计题目	(267)
附录 A	由汇编语言编制的 I ² C 总线通信子程序	(271)
附录 B	MCS-51 单片机指令系统一览表	(276)
附录 C	综合设计报告书样板示例	(281)
附录 D	虚实结合远程实验平台使用说明	(285)
参考文献		(307)

第 1 章 单片机实验系统简介

学习单片机知识离不开单片机实验系统，通过单片机实验系统可以将书本上的理论知识付诸实践。因此，单片机实验系统是学习、掌握单片机知识的一个重要工具。

1.1 实验系统的构成

单片机实验系统由硬件调试平台和软件调试平台两大部分构成。

1.1.1 硬件调试平台

整个系统的硬件调试平台由三部分构成。

1. 计算机系统

计算机系统也称“上位机”。对计算机资源的最低要求如下。

- 具备 USB 接口的台式计算机或笔记本电脑。
- 具备 Pentium、Pentium-II 或兼容的处理器。
- Windows 7 或 Windows 10 操作系统。

2. 单片机实验台

本书使用的实验台在结构上采用“模块化”设计，适合 MCS-51、PIC18F452、STM32 等诸多型号的单片机实验。本书介绍的相关软件、硬件都是针对 MCS-51 单片机而言的，其他单片机的相关知识将在其他教材中描述，这里不再介绍。

实验台由“通用底板”加“接插式功能模块”组成，由底板提供各个模块的工作电源。底板上可直接插入 9 个功能模块（见图 1.1），实验者也可根据需要更换其他模块。

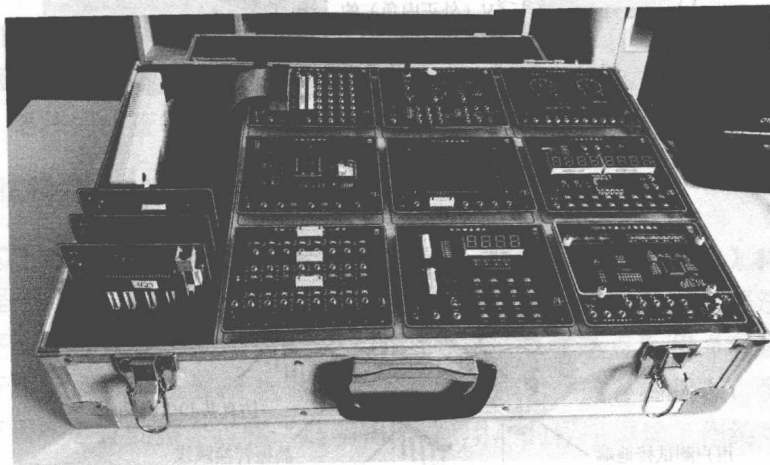


图 1.1 单片机实验台的 9 个功能模块



3. TKS-52BU 仿真器

TKS-52BU 仿真器(见图 1.2)的 4 个并行端口、定时器及中断等硬件资源全部开放。仿真器通过仿真头与实验台“单片机模块”的 40 引脚插座连接,实现对程序的调试和运行。TKS-52BU 仿真器支持 Keil 调试软件。

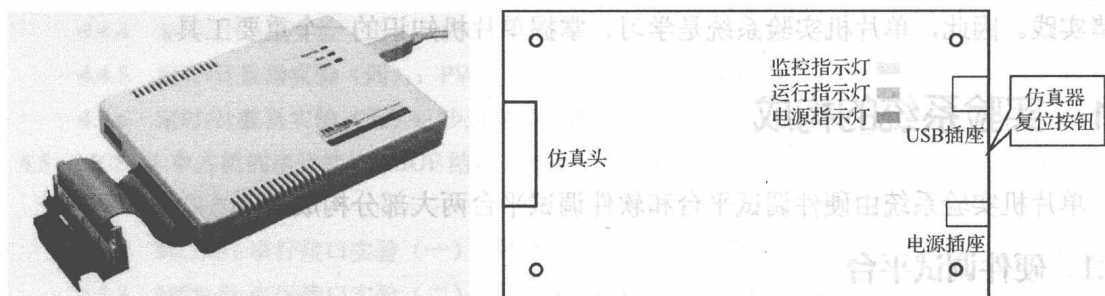


图 1.2 TKS-52BU 仿真器及顶部俯视图

TKS-52BU 仿真器单独供电,采用专用的外正内负的直流 6V、2A 插头的电源适配器(见图 1.3)。应当注意,仿真器必须采用专用的电源适配器,使用任何高于 6V 的电源都会造成仿真器的永久损坏。

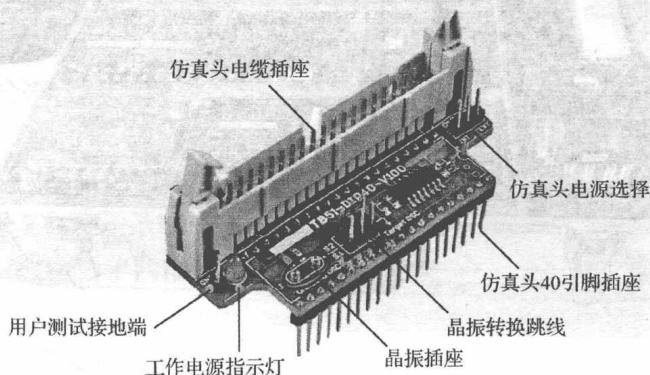
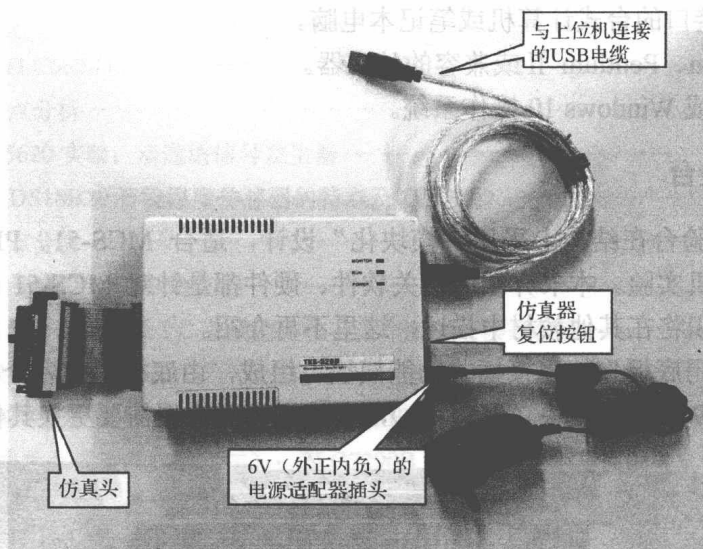


图 1.3 TKS-52BU 仿真器、附件及仿真头结构



实验系统“在线调试”模式时的硬件系统连接如下。

上位机、TKS-52BU 仿真器和实验台连接在一起，在 Keil 软件的环境下实现对实验台上相应模块程序的“动态”调试、运行；在这种模式下，上位机与实验台之间的信息交换是靠 TKS-52BU 仿真器中的监控程序协调工作的。在线调试过程中，可以运用各种方法（单步、断点或连续运行）通过对观察各种变量（寄存器、内存单元）的监控完成程序的调试工作。

TKS-52BU 仿真器上行与上位机 USB 接口连接，下行由 40 线的扁平电缆通过仿真头与实验台连接。实验台由 220V 交流电源供电，仿真器单独由一个外正内负的 6V 电源适配器供电，其在线调试、运行模式示意图见图 1.4。

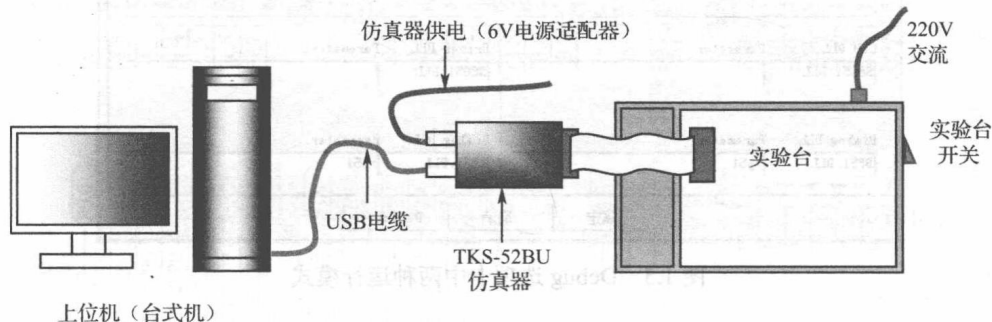


图 1.4 在线调试、运行模式示意图

1.1.2 软件调试平台

TKS-52BU 仿真器的调试软件为 Keil C51。Keil C51 μ Vision2（简称 Keil）集成调试软件是德国知名软件开发公司 Keil 公司开发的基于 80C51 内核的单片机开发平台，内嵌多种标准的开发工具，可以实现从工程建立、编译、连接、目标代码的生成，到软件仿真、硬件的在线调试等完整的开发过程。其中内嵌的 C 编译器目前在产生代码的准确性和效率方面都处于较高的水平。系统支持汇编和 C 语言编程。

Keil 软件具有两种运行模式，即“模拟仿真模式——Simulator”和“在线调试模式——Use”。

1. 模拟仿真模式——Simulator

利用上位机运行 Keil 软件，实现用户程序的编辑、编译（包含语法检查）。在这种模式下不需要仿真器和目标系统（实验台），因此适合项目的前期准备工作和学生实验之前预习阶段程序的编写、语法的检查等。

2. 在线调试模式——Use

在这种模式下，上位机、仿真器（TKS-52BU）、目标系统（实验台）构成一个整体。在程序的调试过程中，Keil 软件不仅可以完成对目标程序的编辑、编译（语法检查）等，还可以实现用户程序在目标系统上的运行，可以利用“单步”、“断点”和“观察变量”等方法及手段对程序进行跟踪调试。在 Keil 软件的界面屏幕上将程序的各种状态、变量数据进行动态刷新、显示，使程序运行的整个过程“透明化”。当用户的程序调试工作结束后，要将最终程序代码（_hex）通过专用设备（编程器）烧写到单片机中。

Keil 软件的两种运行模式是通过 Debug 选项卡来设定的。有关 Keil 软件的使用方法参见



第2章的内容。Debug 选项卡中两种运行模式见图 1.5。

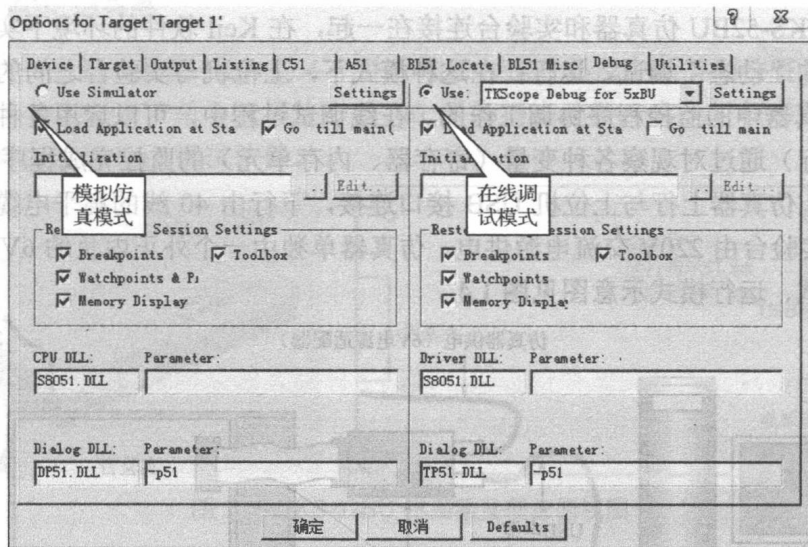


图 1.5 Debug 选项卡中两种运行模式

1.2 实验台各个功能模块介绍

实验台共设计有 11 个功能模块。每个功能模块的右下角都设计有一个模块板的电源开关和电源指示 LED 灯，实验时对应的功能模块应接通电源，并将不用的模块电源关闭。模块的左下角分别设计有地线的插口和地线的 U 形裸线，为使用示波器或万用表提供方便。

实验台共配置了 11 个功能模块，其功能介绍如下。

1. 一号板：单片机模块

单片机模块板是针对 MCS-51 系列单片机设计的 MPU 功能模块。该模块由两部分组成。

(1) 以一个 DIP40 引脚带锁插座为核心，配备两种 I/O 接口类型的单片机模块电路，即 8 芯排线插座和 8 个独立的插孔以适应不同的需求。电路已配有“上电/手动复位”电路，为单片机提供系统时钟 (11.0592MHz) 的有源振荡器电路。单片机的四个 I/O 接口都设计有 10kΩ 的上拉电阻，以提高接口的 I/O 能力。在实验中通常将 DIP40 插座与仿真器的仿真头连接，也可以直接插入已烧写程序的单片机芯片以“脱机模式”运行系统。

(2) 一个以 CH340 (异步串行与 USB 电平转换) 电路为核心的电平转换电路，可以实现“TTL 电平的异步串行数据”与 USB 接口信号之间的转换，可以方便地实现单片机系统与上位机之间的数据通信。

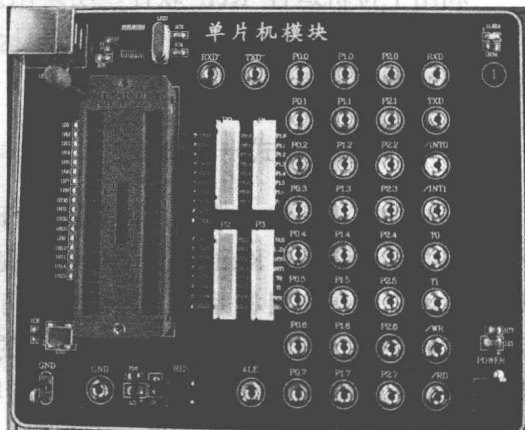


图 1.6 一号板的布局

一号板的布局见图 1.6, 电路见图 1.7 和图 1.8。



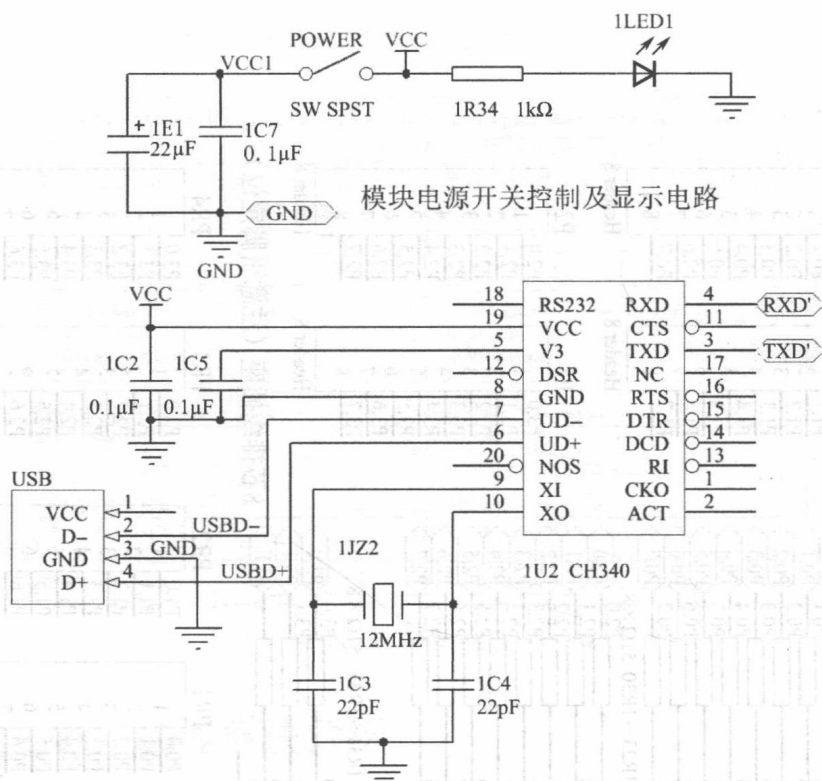


图 1.8 一号板电路 (二)

2. 二号板: SPI 总线应用与温控模块

二号板提供了两种 SPI 接口芯片: TLC549 8 位 ADC 和 TLC5620 四通道 8 位电压型 DAC。配套设计有三个基准电压源: 分别为 ADC 芯片使用的 ADREF (5000mV) 和 DAC 芯片使用的 VREF2.5 (2500mV)、VREF5 (5000mV)。

模块设计了一个电位器 5W1, 其引脚 (VOUT) 可以输出 0~5000mV 的模拟电压。

模块设计了两个单总线接口智能温度传感器 DS18B20, 其中一个还设计了 PWM 加热电路, 以模拟温控系统的运行。

模块设计了两个不同结构的蜂鸣器电路, 即“有源蜂鸣器” (BEEPA) 和“无源蜂鸣器” (BEEPBA), 以适合不同场合的应用。两个蜂鸣器均由三极管驱动, 低电平有效驱动。

二号板的布局见图 1.9, 电路见图 1.10 和图 1.11。



图 1.9 二号板的布局

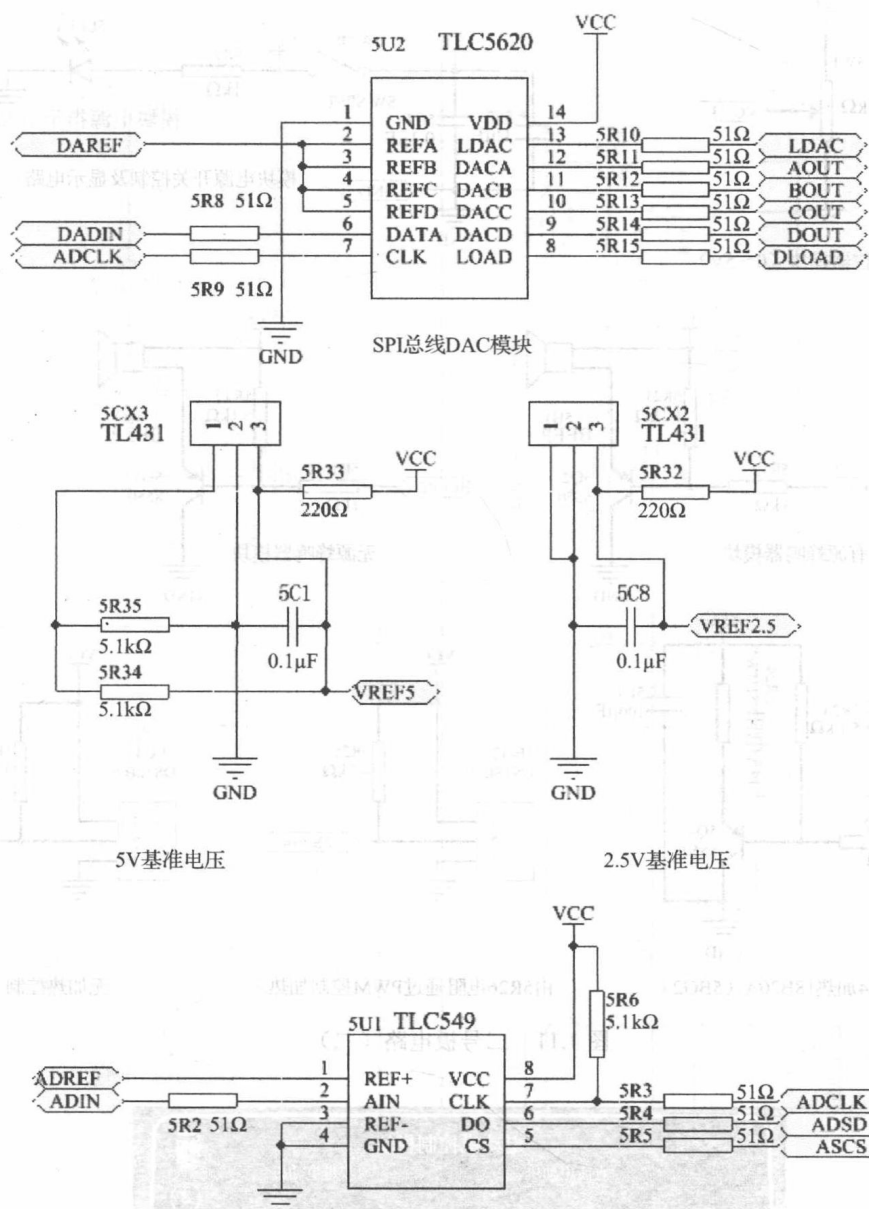


图 1.10 二号板电路 (一)

3. 三号板：电动机控制模块

三号板设计了直流电动机和步进电动机。

- 直流电动机由“H 桥电路” L298 驱动，可以由单片机的 I/O 接口控制电动机的转速和转向，其中 IN1、IN2 用来控制直流电动机的转向，ENA 控制直流电动机的转速。
- 步进电动机由“七路达林顿”驱动器 ULN2003 驱动。

两种电动机均设计了转速检测电路 (P11 和 PJ)，单片机可以利用定时器模块检测电动机的转速。三号板的布局见图 1.12，电路见图 1.13。

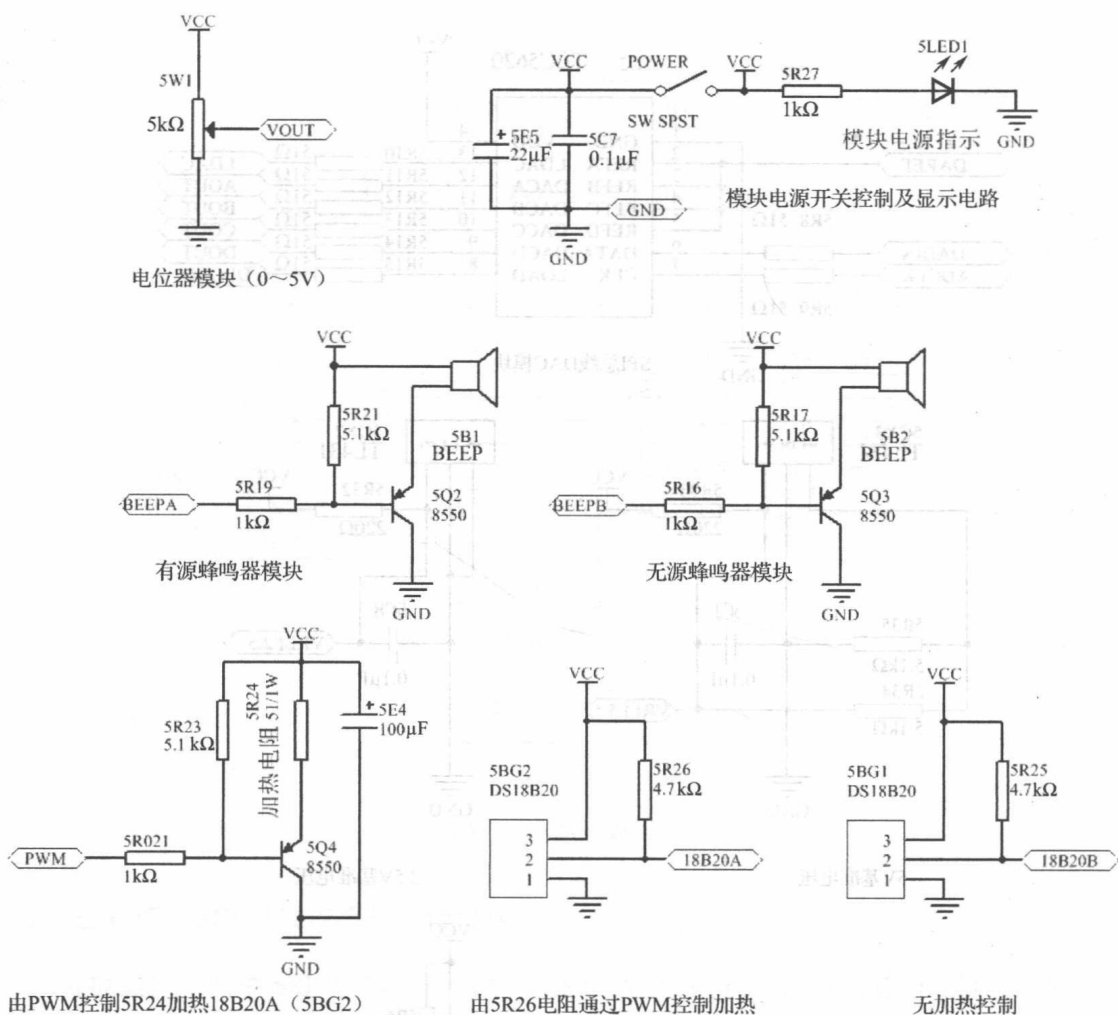


图 1.11 二号板电路 (二)

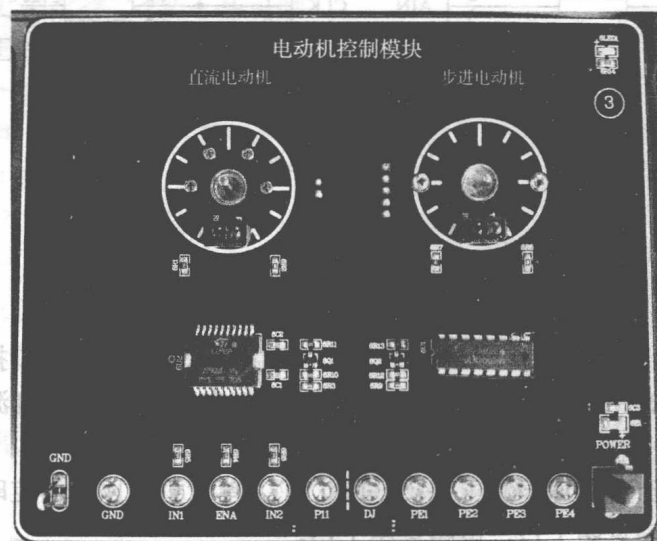


图 1.12 三号板的布局

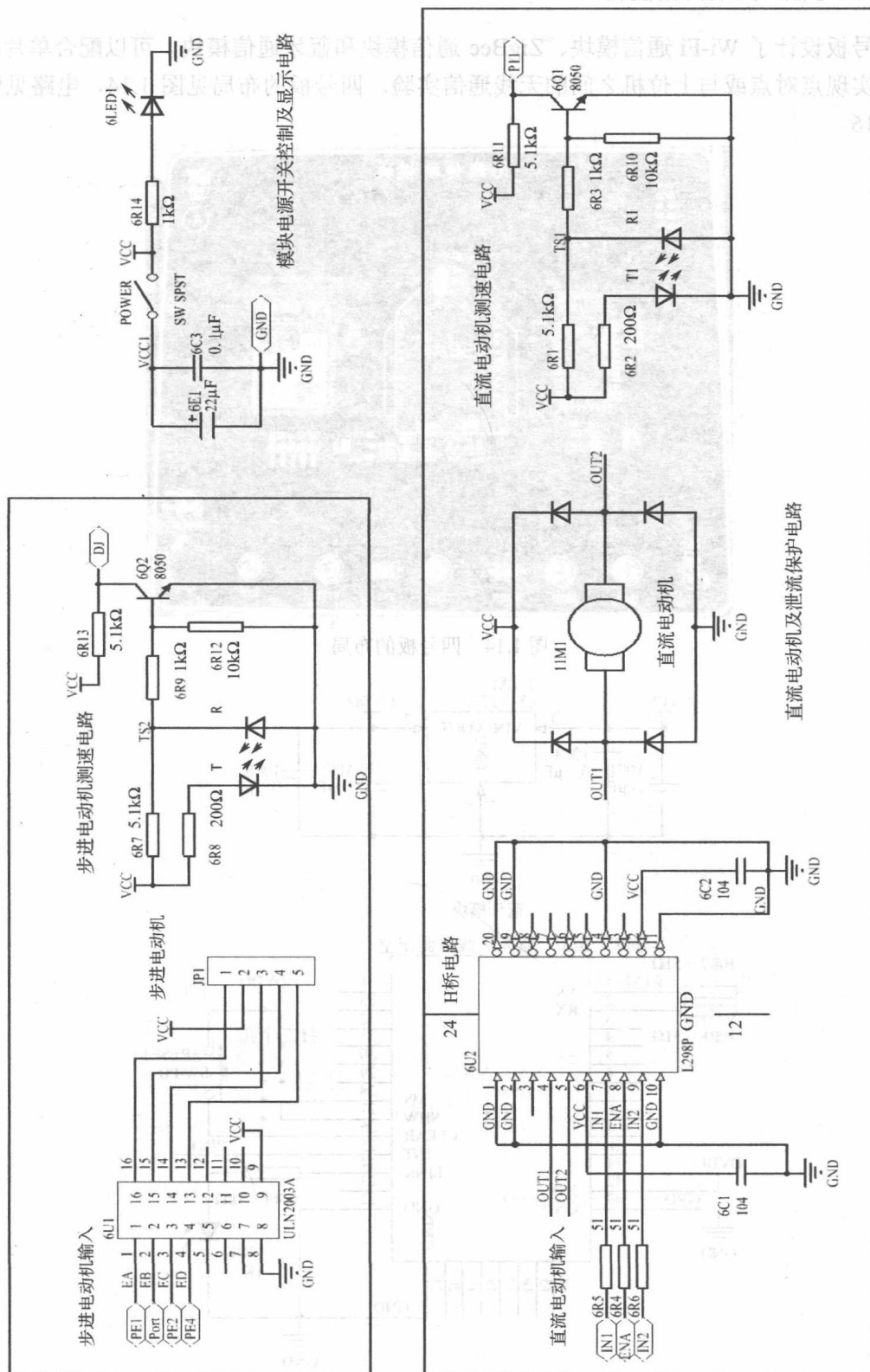


图 1.13 三号板电路



4. 四号板：无线传输模块

四号板设计了 Wi-Fi 通信模块、ZigBee 通信模块和蓝牙通信模块，可以配合单片机的串行通信实现点对点或与上位机之间的无线通信实验。四号板的布局见图 1.14，电路见图 1.15 和图 1.16。

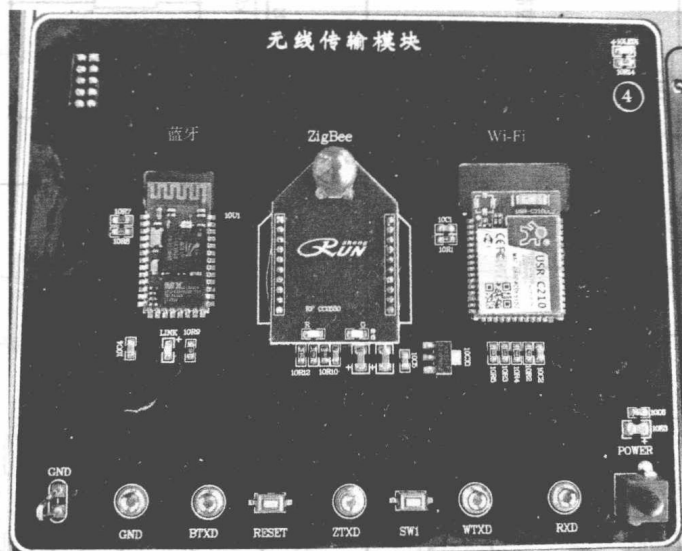


图 1.14 四号板的布局

