

高等职业教育机电专业系列教材

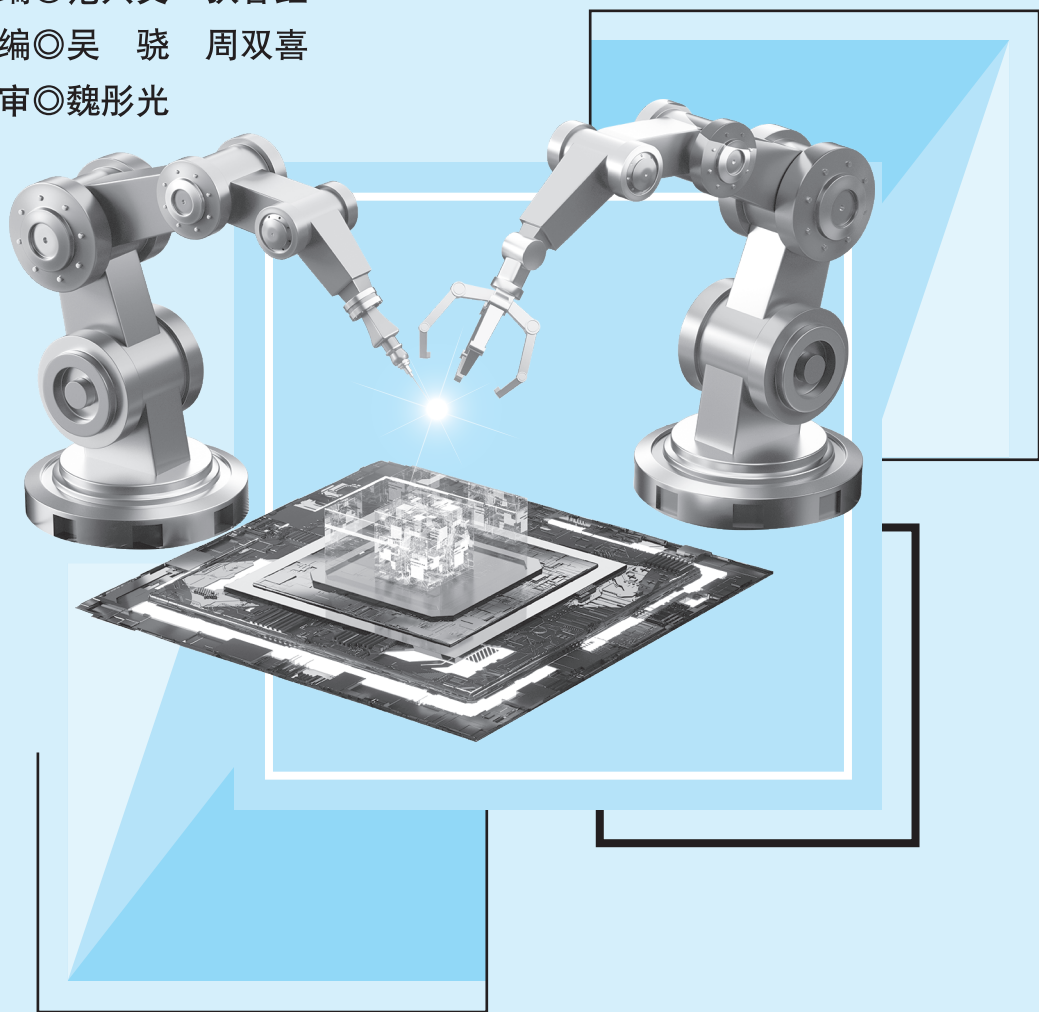
单片机应用技术 项目式教程

(汇编语言)

主 编◎范兴文 狄春红

副主编◎吴 骁 周双喜

主 审◎魏彤光



西北工业大学出版社
西安

【内容简介】 本书共 24 个项目, 主要内容包括认识单片机、单片机最小系统绘制、点亮一个 LED、LED 闪烁及延时程序、启停按钮的应用、调用子程序和返回指令简化程序、单片机控制的含启停按钮的流水灯, 等等。

本书可作为高等职业院校机电一体化技术、机械制造与自动化、工业过程与自动化技术等专业的教材, 也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

单片机应用技术项目式教程: 汇编语言/范兴文,
狄春红主编. —西安: 西北工业大学出版社, 2023. 8
ISBN 978-7-5612-8943-3

I. ①单… II. ①范… ②狄… III. ①单片微型计算
机-高等学校-教材 IV. ①TP368.1

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 151645 号

DANPIANJI YINGYONG JISHU XIANGMUSHI JIAOCHENG (HUIBIAN YUYAN)
单片机应用技术项目式教程(汇编语言)
范兴文 狄春红 主编

责任编辑: 孙倩 白露 装帧设计: 张瑞阳
责任校对: 李阿盟 王水
出版发行: 西北工业大学出版社
通信地址: 西安市友谊西路 127 号 邮编: 710072
电 话: (029)88491757, 88493844
网 址: www.nwpup.com
印 刷 者: 三河市龙大印装有限公司
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张: 15.75
字 数: 383 千字
版 次: 2023 年 8 月第 1 版 2023 年 8 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-5612-8943-3
定 价: 48.00 元

如有印装问题请与出版社联系调换

PREFACE

前言

单片机广泛应用于自动化控制、智能仪器仪表、通信、智能家电、智能玩具等领域,单片机工作原理及应用方法是装备制造大类、交通运输大类、电子信息大类等高职专业大类中众多专业都要学习的专业知识和技能。

本教材基于高职装备制造大类对单片机应用技术的教学需要编写,适用于高职高专机电一体化技术、机械制造与自动化、工业过程与自动化技术等专业的理实一体化教学。在教材结构、案例设计、授课安排等方面依据编者十余年的授课经验进行了精心设计,教材内容参考了编者教学中使用过的一些优秀教材,并查阅了一些有关单片机的优秀专业书籍和许多单片机及单片机控制电路中典型元件的产品手册。

本教材以便于学生学习和教师授课、突出学生学习获得感为目标,采用以实践为主的小项目编写方式。通过对小项目的学习,学生能逐步掌握单片机的各个功能、各类指令和常用外部电路元件的使用方法。项目易学、易练,项目完成后的系统运行效果直观生动,有利于提升学生学习兴趣和获得感。考虑到实训的便利性,教材讲授使用常见的 Proteus 电路设计与仿真软件完成项目的方法,并对部分项目的实物电路制作提供了资料和指导。以 Proteus 元件库中典型的 AT89C51 单片机为例进行讲解,在实物制作中则使用 STC89C52 单片机。由于 51 系列单片机的兼容性,这样的单片机型号选择方式既考虑了 Proteus 元件库元件型号的有限性又考虑了实物制作需购买元件的便利性,而且不影响对单片机的原理和应用的学习。本教材讲授使用汇编语言编写单片机程序的方法,作为一本单片机入门教材,采用汇编语言有助于学生理解单片机的硬件资源,有助于学生学习和理解其他高级程序设计语言。

项目的基本架构是提出项目任务,介绍项目所需新知识点,分析项目完成方法,给出项目完成步骤。教师在授课时按架构授课,然后安排学生练习,并进行辅导和成绩评价。教材提供了大量单片机控制系统仿真运行视频和实物电路运行视频,在部分项目后设置了拓展延伸模块,便于学生延伸学习与单片机相关的更多知识。

本教材具有如下特色。

1. 项目小型化

将项目设计为小型项目,绝大多数项目连讲带练 2 学时能够完成,适合 2 学时连排的排课形式。

2. 知识点分散化

将单片机应用所需的指令知识和硬件知识分散到小项目中,学习每个项目只接触少量新知识,适合高职学生学习。

3. 学习难度低

教材选用汇编语言编程,学生无须具备 C 语言基础;利用 Proteus 仿真项目,不需要额外编程软件,只需一个软件就能实现电路设计与仿真,简单易学;讲授内容细致,充分考虑学生基础薄弱的情况。

4. 项目仿真化

主要采用 Proteus 仿真运行学习项目,便于实训条件不足和学时少的专业学习。

5. 学习成果可视化

学生成功完成项目后能看到生动现象,有利于提升学生学习兴趣和获得感。

6. 配套电路实物制作视频

典型项目配套电路实物制作视频,方便教师增设实物电路制作实训。

本书由范兴文、狄春红任主编,吴骁、周双喜任副主编。具体编写分工如下:范兴文编写项目一至项目五和项目七,狄春红编写项目六、项目十七和项目十八,吴骁编写项目八至项目十六,周双喜编写项目十九至项目二十四及附录。全书由范兴文统稿,魏彤光主审。

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,请广大读者批评指正。

编者

CONTENTS

目录

项目一 认识单片机	1
项目二 单片机最小系统绘制	11
项目三 点亮一个 LED	32
项目四 LED 闪烁及延时程序	50
项目五 启停按钮的应用	61
项目六 用调用子程序和返回指令简化程序	70
项目七 单片机控制的含启停按钮的流水灯	75
项目八 数码管倒计时	83
项目九 查表程序倒计时	95
项目十 BCD 译码器控制数码管	105
项目十一 串行通信控制数码管	112
项目十二 多个数码管的静态显示	122
项目十三 多位数码管的动态显示	130
项目十四 矩阵键盘的应用	135
项目十五 矩阵键盘的按键识别程序的优化	142
项目十六 点阵显示器的控制	149
项目十七 利用中断功能完成点阵显示数字切换	157

项目十八	利用定时器完成点阵倒计时	169
项目十九	计数器应用练习	176
项目二十	A/D 转换器搭建测温电路	183
项目二十一	双机通信	192
项目二十二	存储器的扩展	202
项目二十三	时钟的设计	213
项目二十四	单片机控制 LCD	222
附录	233
参考文献	246

项目一 认识单片机

项目指南

- (1) 掌握单片机的基本结构。
- (2) 熟悉单片机的功能及各组成部分的功能。
- (3) 了解单片机的概念。
- (4) 了解单片机的特点。

知识链接

单片机是生产和生活中常用的控制元件,本节认识单片机。

一、单片机的概念

单片机全称为单片微型计算机。既然是微型计算机,那么可以将单片机与大家熟悉的个人计算机类比来理解。如图 1-1 所示,个人计算机由主机和外设组成。主机通俗理解就是机箱及安装在其内部的设备,在机箱上有各种接口。外设是通过各种线缆连接到机箱上的设备,如显示器、鼠标、键盘、音响等。以使用个人计算机打战争游戏为例,人们实际是用键盘、鼠标等设备将方向、开枪等信息发送给主机;主机根据内部安装的游戏程序对输入的信息进行处理,生成角色移动的位置和画面、道具的画面和声音等信息;然后主机将处理后的结果信息发送给显示器、音响等设备呈现出来。上述过程可以总结为:主机根据从外部设备收到的信息,按游戏程序进行处理得到运算结果,并将结果输出给外部设备呈现出来。



图 1-1 个人计算机的组成

下面以一个简单的单片机应用例子与个人计算机的应用做一个对比。图 1-2 是一个用启停按钮控制倒计时显示的电路,为了便于理解,对电路进行了简化。电路中,中间灰色矩形的元件是单片机;电路左下角有两个按钮,分别为启动按钮和停止按钮,它们接在单片机的左下方;电路最右边为显示器,它接在单片机的右侧。当按下启动按钮时,单片机控制显示器按 1 s 的间隔依次显示 9~0。当按下停止按钮后,显示器熄灭(系统运行现象可以扫图 1-2 下方的二维码查看)。在这个单片机控制电路中,单片机相当于个人计算机的主机,按钮和显示器相当于个人计算机的外部设备,单片机接收按钮传来的信号,按照其存储的程序计算运行结果,并将结果信号输出给显示器,使其显示规定的内容。因此,可以总结:单片机是一种能够接收外部信号,按其储存的程序处理信号,并可输出信号控制外部设备工作的控制元件。

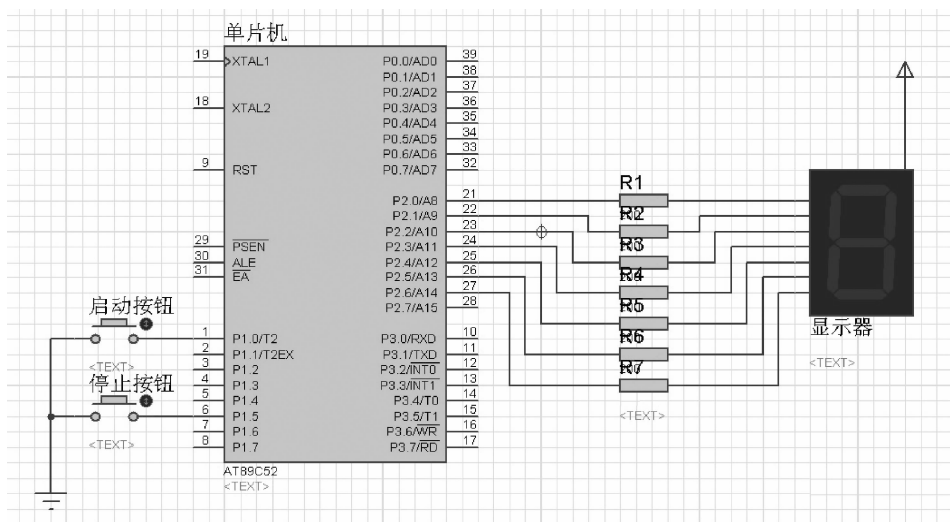


图 1-2 单片机控制的倒计时简化电路

二、单片机的结构

在上一节中,我们知道单片机相当于个人计算机的主机,那么关于单片机的结构我们也可以与个人计算机主机的结构对比来理解。

个人计算机主机的内部结构如图 1-3 所示。个人计算机主机里有 CPU、硬盘,以及主板、显卡、电源等。

在个人计算机中,CPU 即中央处理器,负责数据的运算和处理。独立的显卡负责图像数据的运算,显卡实质上也是一个处理器。在单片机中也有 CPU,它的功能也是负责数据处理和运算。与个人计算机 CPU 与显卡的关系类似,单片机的 CPU 也可以分为运算器和控制器两个部分,它们分别完成不同的功能。

个人计算机中的硬盘用来存储数据,如存储操作系统、软件程序、电影等。单片机中也有负责存储数据的部分,它们是 ROM 和 RAM,可以把它们一起理解为单片机的“硬盘”。ROM 是程序存储器,通常用于存储程序这样固定的数据;RAM 是数据存储器,用于存储程序运行中产生的数据,这类数据通常是变化的。

个人计算机接口如图 1-4 所示。与个人计算机主机需要外接其他设备相似,单片机也



仿真运行:倒计时

需要外接设备。单片机上的接口称为 I/O 接口,它由接线的引脚及内部负责存储和控制接收到的或要发送的数据的电路构成。



图 1-3 个人计算机主机的内部结构



图 1-4 个人计算机接口

个人计算机即使不联网,也能提供时钟、秒表等服务,可见个人计算机具有计时功能。与之类似,在单片机内部也有负责计时的部分,称为定时器,同时它还有计数器的功能,因此这个部分称为定时器/计数器。依靠定时器/计数器,单片机可以用来制作电子时钟,以及其他需要控制时间的控制系统。

在使用个人计算机时,如果运行程序过多,通常可以打开任务管理器,然后注销或重新启动,此时计算机会停止执行正在运行的其他程序而执行注销或重新启动的程序,这个过程实际上是一个中断控制过程。在单片机中也有类似的功能,承担这个功能的部分称为中断控制器。

从图 1-3 中能够看到各种线缆,它们将主机内的 CPU、硬盘等部件连接到一起,完成数据的传输。在单片机内部也有类似将单片机各部分连接到一起的线路,即总线。总线按照功能分为地址总线、数据总线、控制总线。

总结:单片机的基本结构有 CPU、ROM、RAM、定时器/计数器、中断控制器、I/O 接口和总线。单片机就是把 CPU、ROM、RAM、定时器/计数器、中断控制器、I/O 接口等部件集成在一块芯片上的单芯片微型计算机,其结构框图如图 1-5 所示。

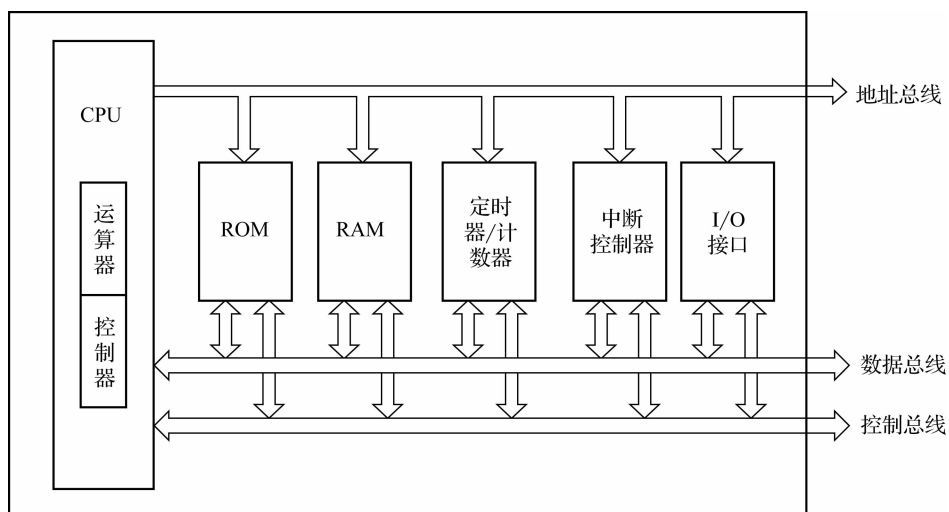


图 1-5 单片机的结构框图

三、单片机的外形

单片机是把 CPU、ROM、RAM 等集成在一块芯片上的单芯片微型计算机,也就是说,单片机是一种芯片,因此它的外形与大多数芯片类似,主要外部结构都是塑料封装+引脚。图 1-6 所示为两个不同型号单片机的外形。黑色的矩形部分是塑料封装,内部包裹着集成电路,封装起到保护集成电路和绝缘的作用。伸出黑色封装的银白色爪状结构是单片机的引脚,它们与封装内集成电路的特定位置导通,是单片机封装内的电路与外部设备连接的通道。图中右侧单片机下每个方格的边长为 1 mm,该单片机尺寸较小,约为 17 mm×17 mm。需要说明的是,所有的芯片都是塑料封装+引脚的结构,但是单片机只是众多芯片中的一类,也就是说塑料封装+引脚这样的电子元件不都是单片机。

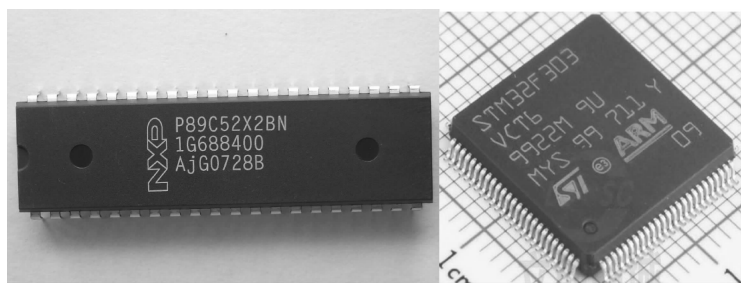


图 1-6 两个不同型号单片机的外形

四、单片机的应用

单片机是一个微型计算机,也是一个控制器,因此很多需要自动运行的设备都选用单片机作为控制元件,尤其是那些外形较小、结构紧凑,需要考虑经济性和空间的设备。

冰箱采用单片机作为控制元件,通电以后是自动工作的,不需要人的干预,冰箱就能够自动把内部的温度保持在一定范围内。图 1-7 是冰箱控制原理简图,用户通过温度设置按

钮设定需要的温度,这个温度信息被传送给单片机,图中设定为 5°C 。单片机不断接收冰箱内部温度传感器传来的温度信息,并将该温度信息转化为特定信号传送给冰箱面板上的温度显示器,从而将当前温度以数字的形式显示出来,图中显示为 9°C ;单片机将当前冰箱内温度信息与设定温度信息进行运算比较,根据比较的结果决定压缩机的工作状态,图中的冰箱内温度大于设定温度 4°C ,因此单片机发出信息使压缩机启动,冰箱内部开始降温。

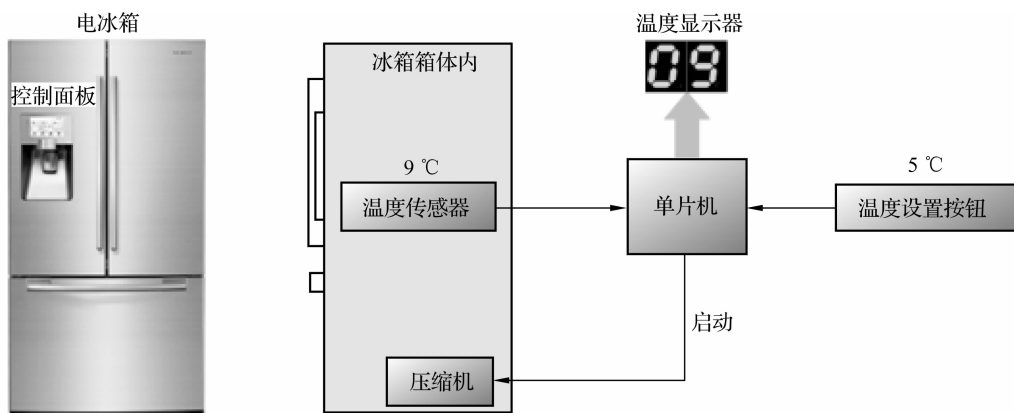


图 1-7 冰箱控制原理简图

单片机在智能家电、玩具、仪器仪表、通信、智能机械设备等领域应用广泛,如图 1-8 所示。



图 1-8 单片机应用举例

五、单片机的优点

单片机是一种芯片,也是一种集成电路,那么集成电路中的元件有多少?有多小呢?以世界上第一个芯片 CPU Intel4004 为例,其在 $4.2\text{ mm}\times 3.2\text{ mm}$ 的硅片上集成了 2 250 个晶体管,也就是说,在普通人小指指甲一半大小的面积上有 2 250 个晶体管及其连接线路。而 Intel4004 仅仅是一个早期的处理 4 位数据的 CPU,本书所学习的单片机是处理 8 位数据的控制器,其中不仅有 CPU,还集成了存储器、定时器/计数器等,可以想象单片机内元件的微

小程度。正是这样的集成电路的结构使得单片机具备了以下优点。

1. 控制功能强

单片机集成了众多功能模块,是从工业测控的需要出发,为满足工业控制而设计的。所以单片机的逻辑控制、实时控制功能很强,并且具有功能卓越的位操作能力,十分适合在控制领域中应用。

2. 可靠性高

由于单片机的 CPU、存储器、I/O 接口等都集成在一块芯片上,各组成部件连接紧凑,抗干扰能力强;系统软件固化在 ROM 中,不易受到破坏;而且单片机适应温度范围宽,能适应各种恶劣的环境,因而运行稳定、可靠。

3. 通用性好

因为单片机的基本结构与通用微型计算机相似,所以对各种应用对象来说都是通用的。根据不同的控制对象,可以搭建成不同的控制电路,只要配以不同的控制程序,就可以满足各种被控对象的需要。而且在需要改变功能时,往往只需要对软件进行升级就可以轻易地达到目的。

4. 适应范围广

从 20 世纪 70 年代至今,单片机已发展成为品种齐全、型号多样、功能丰富的庞大系列产品,能适应不同领域、不同产品的应用需求,其中大部分产品还具有较好的兼容性,可较容易地对已开发的产品进行移植或升级换代。

5. 扩展灵活

单片机具有供扩展外部电路用的三总线(DB、AB、CB)结构,能与各种扩展芯片进行连接,灵活地构成各种规模的应用系统。

6. 易于嵌入

单片机体积小、质量轻、功耗低、性价比高,可以很容易地嵌入各种电子设备中,方便地构成嵌入式微型计算机系统,对电子设备实现智能控制。



项目训练

- (1)什么是单片机?
- (2)单片机的基本结构由哪些部分组成?
- (3)单片机有哪些优点?



拓展延伸

单片机的发展与主要机型

1. 单片机的发展历史和现状

自从 1974 年美国仙童(Fairchild)公司研制出世界上第一台微型计算机 F8 开始,单片机就以其集成度高、功能强、可靠性高、体积小、功耗低、价格低廉、使用灵活方便等优点得到

迅速发展,其应用十分广泛,特别是在过程控制、智能化仪器、变频电源、集散控制系统等方面得到了充分的应用。单片机的发展很快,每隔两三年就要更新换代一次。单片机的发展过程大致可分为以下几个阶段。

(1)第一代单片机(1974—1976年)。这是单片机发展的起步阶段。这个时期生产的单片机的特点是制造工艺落后,集成度较低,而且采用双片形式,代表产品有仙童公司的 F8 系列机和 Intel 公司的 3870 系列机。

(2)第二代单片机(1976—1978年)。这一阶段生产的单片机已是单块芯片,但其性能差、品种少、寻址范围有限、应用范围也不广。代表产品是 Intel 公司的 MCS-48 系列机。

(3)第三代单片机(1979—1982年)。这是 8 位单片机的成熟阶段。这一代单片机和前两代相比,不仅存储容量大、寻址范围广,而且中断源、并行 I/O 接口、定时器/计数器的个数都有不同程度的增加,同时新集成了全双工串行通信接口电路。在指令系统方面,普遍增设了乘除和比较指令。这一时期生产的单片机品种齐全,可以满足各方面的需要。代表产品有 Intel 公司的 MCS-51 系列机、Motorola 公司的 MC6801 系列机等。

(4)第四代单片机(1983年以后)。这一阶段 8 位单片机向更高性能发展,同时出现了工艺先进、集成度高、内部功能更强和运算速度更快的 16 位单片机,它允许用户采用面向工业控制的专用语言,如 C 语言等。代表产品有 Intel 公司的 MCS-96 系列机和 NC 公司的 HPC16040 系列机等。

近几年来,单片机处于 8 位机和 16 位机并行发展的状态,它们都在向高性能、高运算速度、增加自身程序存储能力的方向发展。虽然出现了 32 位单片机,但 8 位机仍是主流芯片之一。

2. 单片机的主要生产厂商和机型

从诞生之日起,单片机就深受电子产品设计者的欢迎和重视,其应用范围不断扩大,市场需求不断增长,形成了多厂商、多系列、多型号的格局。单片机的主要生产厂商及其主要产品系列见表 1-1。

表 1-1 单片机的主要生产厂商及其主要产品系列

生产厂商	产品系列
Intel	MCS-48、MCS-51、MCS-96 系列
ATMEL	AT89 系列、AYR 系列
Hitachi	HD 系列、SH 系列
Motorola	MC 系列
Microchip	PIC 系列
Philips	80C51 系列
Zilog	Z8 系列、SUPER8 系列

3. MCS-51 系列单片机介绍

在单片机的众多系列中,最为典型的是 Intel 公司生产的 MCS-51 系列单片机。Intel 公司于 1980 年推出 MCS-51 系列单片机,20 世纪 80 年代中期以后,Intel 公司已把精力集中在高档 CPU 芯片的研发上,逐渐淡出单片机芯片的开发和生产。由于设计上的成功以及较

高的市场占有率,MCS-51 系列单片机得到了世界众多公司的青睐。MCS-51 系列单片机的代表性机型为 8051,Intel 公司以专利转让或技术交换的形式把 8051 的内核技术转让给了许多芯片生产厂家,如 ATMEL、Philips、CygnaI、ANALOG、LG、ADI、Maxim、DEVICES、DALLAS 等。世界其他公司推出的各种与 8051 兼容、扩展型单片机都是在 8051 内核的基础上进行了功能模块的增加与扩展,使其集成度更高,功能和市场竞争力更强。人们常用 8051 单片机(或 80C51,C 表示采用 CHMOS 工艺)来称呼所有这些具有 8051 内核,且使用 8051 指令系统的单片机,简称为 51 单片机。MCS-51 系列单片机在我国推广最早、应用最广、资料最全、最具有代表性,而且几乎与所有其他厂商生产的内核属于 51 系列的单片机基本兼容。本节对该系列单片机进行简单介绍。该系列部分单片机的性能见表 1-2。

表 1-2 MCS-51 系列部分单片机的性能

型 号	片内 ROM	片内 RAM	并行 I/O	串行 I/O	定时器/计数器	中断器
8031	无	128 B	4×8 bit	1 个	2×16 bit	5 个
8031AH	无	128 B	4×8 bit	1 个	2×16 bit	5 个
80C31BH	无	128 B	4×8 bit	1 个	2×16 bit	5 个
8051	4 KB 掩膜 ROM	128 B	4×8 bit	1 个	2×16 bit	5 个
8051AH	4 KB 掩膜 ROM	128 B	4×8 bit	1 个	2×16 bit	5 个
80C51BH	4 KB 掩膜 ROM	128 B	4×8 bit	1 个	2×16 bit	5 个
8751	4 KB EPROM	128 B	4×8 bit	1 个	2×16 bit	5 个
8751BH	4 KB EPROM	128 B	4×8 bit	1 个	2×16 bit	5 个
87C51	4 KB EPROM	128 B	4×8 bit	1 个	2×16 bit	5 个
8032AH	无	256 B	4×8 bit	1 个	3×16 bit	6 个
8052AH	8 KB 掩膜 ROM	256 B	4×8 bit	1 个	3×16 bit	6 个
8752BH	8 KB EPROM	256 B	4×8 bit	1 个	3×16 bit	6 个

其中,MCS-51 系列单片机的典型产品为 8051,其内部资源配备和性能如下:8 位 CPU,寻址能力 64 KB,4 KB 片内掩膜 ROM,128 B 片内 RAM,4 个 8 bit 并行 I/O 接口电路,1 个串行全双工异步接口,2 个 16 bit 定时器/计数器,5 个中断源和两个中断优先级的中断系统。将 8051 中的掩膜 ROM 换成 EPROM 便是 8751,去除 8051 中的 ROM 便是 8031。8031/8051/8751 是 MCS-51 系列单片机中的基本型号,8032/8052/8752 是 MCS-51 系列单片机中的增强型,只是在基本型的基础上增加了片内 ROM 和片内 RAM 的容量以及定时/计数器和中断源的数量。型号的后缀 AH 或 BH 表示采用 HMOS 工艺制造,型号中的字母 C 表示采用 CHMOS 工艺制造。两者的区别主要是对电平的要求不同:HMOS 的高电平大于 2.0 V,低电平小于 0.8 V;CHMOS 的高电平大于 4.5 V,低电平小于 0.45 V,功耗比 HMOS 低。

关于表 1-2 内容的理解如下:

(1)表中数值越大,说明该型号单片机功能越强。例如,存储器片内 ROM 数值越大,说明该型号单片机能够在片内存储的程序越长,能够运行的程序越复杂,能完成的控制任务也越复杂。

(2)表中数据的单位 KB、B、bit 请自行搜索资料掌握其意义。

(3)表中掩膜 ROM 和 EPROM 是两种不同的存储器类型。掩膜 ROM 程序写入后不能更改,而 EPROM 程序写入后能够重复更改。显然掩膜 ROM 应用于成熟产品中,一次写入不需更改;EPROM 适用于研发和实验阶段,能够不用更换单片机而不断修改程序。

4. ATME89 系列单片机简介

ATME89 系列(以下简称 AT89)单片机是美国 ATMEL 公司生产的 8 位高性能单片机,其主要技术优势是内部含有可编程 Flash 存储器,用户可以很方便地进行程序的擦写操作,其在嵌入式控制领域中被广泛应用。

AT89 系列单片机与工业标准 MCS-51 系列单片机的指令系统和引脚是兼容的,因而可替代 MCS-51 系列单片机使用。AT89 系列单片机可分为标准型、低档型和高档型 3 种类型。表 1-3 所示为 AT89 系列单片机的概况。

表 1-3 AT89 系列单片机概况

型 号	AT89C51	AT89C52	AT89C1051	AT89C2051	AT89S8252
档 次	标准型		低档型		高档型
Flash/KB	4	8	1	2	8
片内 RAM/B	128	256	64	128	256
I/O/条	32	32	15	15	32
定时器/个	2	3	1	2	3
中断源/个	6	8	3	6	9
串行接口/个	1	1	1	1	1
M 加密/级	3	3	2	2	3
片内振荡器	有	有	有	有	有
EEPROM/KB	无	无	无	无	2

低档型是功能最弱的型号,只能应用于要求不高的场合。高档型是功能较强的型号,它的主要特点在于多了一个 2 KB 的 EEPROM,可应用于较复杂的控制场合。标准型是功能较强的型号,性价比较高,其应用也最为广泛。

5. STC 系列单片机简介

STC89 系列单片机是 MCS-51 系列单片机的派生产品,是种增强功能的单片机。它们在指令系统硬件结构和片内资源上与标准 8051 单片机完全兼容,DIP40 封装系列与 8051 为 pin-to-pin 兼容,因此可替代 MCS-51 系列单片机使用。

STC89 系列单片机高速、低功耗,可在线/应用时编程(ISP/IAP),不占用户资源,用户可以很方便地进行程序的擦写操作,无须专用编程器和专用仿真器,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,因此在嵌入式控制开发和应用领域中被广泛应用。

此外,STC 单片机还开发出不同型号的新型单片机,如 STC12 系列、STC15 系列。STC 单片机均具备与传统 51 单片机兼容的内核,内部集成了 A/D 转换、PWM 模块、SPI 接口模块、内部 EEPROM 存储模块、晶振电路等,用户可根据系统需要,选择合适的型号。

6. PIC 系列单片机

PIC 系列单片机是美国 Microchip 公司的产品,其主要特性如下:

(1) PIC 系列单片机最大特点是从实际出发,从低到高有几十个型号,可满足各种需要。

(2) PIC 单片机采用精简指令集(reduced instruction set computer, RISC),指令执行效率大为提高。数据总线和指令总线分离的哈佛总线结构,使指令具有单字长的特性,且允许指令代码的位数多于 8 位数据位数,这与传统的采用复杂指令集(CISC)的 8 位单片机相比可达到 2:1 的代码压缩,速度提高 4 倍。

(3) 具有优越开发环境。PIC 每推出一款新型号单片机,还同时推出相应的仿真芯片,所有的开发系统由专用的仿真芯片支持,实时性非常好。

(4) 引脚通过限流电阻可接至 220 V 交流电源,直接与继电器控制电路相连,无须光电耦合器隔离,给使用带来极大方便。

7. AVR 系列单片机简介

AVR 系列单片机是 1997 年由 ATMEL 公司研发出的精简指令集(RISC)的高速 8 位单片机,其特点如下:

(1) 废除了机器周期,抛弃复杂指令集(CISC)追求指令完备的做法。采用精简指令集,以字作为指令长度单位,将操作数与操作码安排在一字中,指令长度固定,指令格式与种类相对较少,寻址方式也相对较少,绝大部分指令都为单周期指令。取指周期短,又可预取指令,实现流水作业,故可高速执行指令。

(2) 新工艺 AVR 器件的 Flash 程序存储器擦写可达 10 000 次以上。片内还集成有较大容量的 RAM,不仅能满足一般场合的使用,同时更有效地支持使用高级语言开发系统程序,并且很容易扩展外部 RAM。

(3) 片内丰富的外设。AVR 单片机有定时器/计数器,看门狗电路,低电压检测电路 BOD,多个复位源(自动上电复位、外部复位、看门狗复位、BOD 复位),可设置的启动后延时运行程序,增强了单片机系统的可靠性。片内有通用的异步串行口(UART),面向字节的高速硬件串口 TWI(与 I²C 兼容)、SPI 串口。此外,还有 ADC、PWM 等片内外设。

(4) I/O 口功能强,驱动能力大。工业级产品具有大电流(最大可达 40 mA),可省去功率驱动器件,直接驱动晶闸管 SSR 或继电器。I/O 口的输入可设定为三态高阻抗输入或带上拉电阻输入,便于满足各种多功能 I/O 口应用的需要,具备 10~20 mA 灌电流的能力。

(5) 低功耗具有省电功能(Power Down)及休眠功能(Idle)的低功耗工作方式。一般耗电为 1~25 mA,对于典型功耗情况,WDT 关闭时为 100 nA,更适用于电池供电的应用设备。有的器件最低 1.8 V 即可工作。

(6) 支持程序的在线编程,只需一条 ISP 下载线就可把程序写入 AVR 单片机,无须使用编程器。

思政园地

从关于单片机的历史及发展的介绍可以看出,单片机是国外发明的,而且现在绝大多数单片机都是国外厂商生产的。而单片机是一种重要的、广泛应用于国防、生产、生活等各领域的电子元件,因此我们应当看清在这一领域与国外的差距,树立科技报国的理想,努力学习各种知识和技能,为实现中华民族伟大复兴贡献自己的力量。

项目二 单片机最小系统绘制

项目指南

- (1) 掌握单片机最小系统的概念。
- (2) 掌握单片机最小系统的组成。
- (3) 掌握复位电路的结构和工作原理。
- (4) 掌握时钟电路的概念和组成。
- (5) 掌握 Proteus 软件查找电气元件的方法, 放置、移动和编辑元件的方法, 电路接线的方法。
- (6) 了解单片机的时序、机器周期, 了解晶体振荡器的知识, 数制及数制转换知识。

实践清单

- (1) 用 Proteus 绘制单片机最小系统。
- (2) 制作单片机最小系统实物。

知识链接

MCS-51 单片机是一款经典单片机, 众多企业以 MCS-51 单片机为基础, 开发了许多与 MCS-51 单片机兼容的、功能更强大、各有特色的单片机。ATMEL 公司生产的 AT89C51 功能强大, 应用广泛, 如无特殊说明, 本书后续的理论及仿真部分都以 AT89C51 为例进行讲解。STC89 系列单片机是一种基于 8051 内核的增强功能的单片机, 它具有程序烧写方便、价格便宜的优点, 且在指令系统、硬件结构和片内资源上与标准 8051 单片机完全兼容, DIP40 封装系列与 8051 pin-to-pin 兼容(即电路连接兼容), 因此本书的实物制作部分使用 STC89C52 单片机。

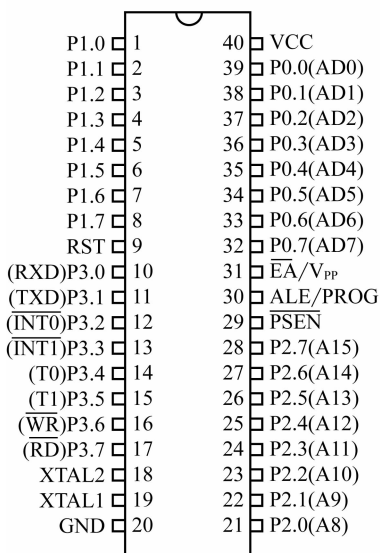
一、单片机最小系统

单片机最小系统是单片机能正常工作的基本条件。以熟悉的台式计算机为例, 台式计算机只有主机机箱是不能完成任何家用功能的, 无论您要使用计算机看电影、听音乐还是玩游戏, 您的计算机主机都必须插上电源, 连接显示器, 连接鼠标或键盘, 当然您的电脑连接的外部设备越多它能够完成的功能就越丰富越复杂。

单片机最小系统包括电源、时钟电路、复位电路和控制电路。

1. 电源

单片机是一个集成电路,它想要工作起来必须接通电源,那么单片机需要接什么类型的电源?从哪里给单片机接入电源呢?项目一中讲过,单片机是一个被工程塑料封装起来的集成电路,包裹在封装内的集成电路与外部设备可以通过引脚连接。图 2-1(a)是 AT89C51 的引脚示意图,图 2-1(b)为 AT89C51 的实物,可以对比查看。从图 2-1 中可以看出,AT89C51 共有 40 个引脚。1 号引脚位于单片机左上角,为了方便确定 1 号引脚的位置,在单片机外壳上端有一个半圆形缺口,同时有箭头和圆点指示 1 号引脚的位置。根据缺口和指示,对照该型号单片机数据手册给出的引脚图就能确定单片机实物每个引脚的名称。单片机使用的是直流电源,在单片机中接电源正极的引脚是 40 号引脚(VCC),查询 AT89C51 的数据手册可知其引脚电源的标准值是 +5 V;20 号引脚(GND)接地,也就是参考电位为 0 V 的端子。VCC 与 GND 之间的标准电压差为 5 V,两引脚构成单片机电路直流电源的正、负两极。如同部分家用电器的插头有 2 个金属片,单片机只有把 VCC 与 GND 两个引脚都正确连接后其电源才连接完毕。正确连接电源是单片机执行任何程序的必备条件。



(a) 引脚示意图



(b) 实物

图 2-1 AT89C51 的引脚示意图和实物

2. 时钟电路

为了完成一个任务,单片机会执行由许多条指令组成的程序,在单片机执行每条指令的时候都分成几个固定的步骤。以执行 MOV A, #03H 指令为例,图 2-2 表示单片机时钟电路的电压脉冲。从图中可以看出,在第一个脉冲下降沿,单片机将该指令的第一个操作码 74H 取出,随后进行译码和执行,这个步骤使单片机得到和执行将一个数送入累加器 A 的命令;在第 7 个脉冲的下降沿,单片机将该指令的第二个操作码 03H 取出,在随后执行时完成将数 03H 送入累加器 A 的步骤;在第 12 个脉冲的下降沿,这一条指令执行完毕,开始执行下一条指令。

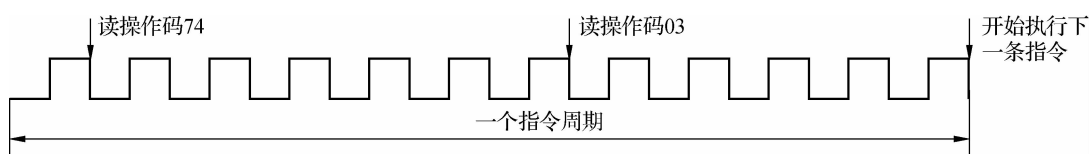


图 2-2 指令执行时序简图

从上述过程可以看出,单片机什么时候开始执行一条指令、在哪一个时间点完成执行指令的哪一个步骤、什么时候完成一条指令是由时钟电路的电压脉冲决定的。图 2-2 中所示的 12 个脉冲用时越短,则单片机执行该条指令的用时越短,单片机执行程序的速度就越快。如果单片机没有获得图中所示的脉冲,单片机就无法判断什么时候开始执行一条指令、在哪一个时间点完成执行指令的哪一个步骤、什么时候完成一条指令,单片机也就无法执行程序。因此,正确连接时钟电路是单片机能够执行任何程序的必备条件。

那么单片机的时钟电路是怎样的呢? 根据获得电压脉冲的方式,时钟电路分为内部时钟电路和外部时钟电路两种。图 2-3 是 AT89C51 的内部时钟电路,该电路是在 XTAL1 和 XTAL2 两个引脚间接入两个电容 C_1 、 C_2 和一个晶体振荡器 X_1 ,并在两电容间接地线。如果晶体振荡器采用石英晶体,则两电容的典型值为 30 pF;如果晶体振荡器选用陶瓷谐振器,则两电容的典型值为 47 pF。晶体振荡器的振荡频率可在 2~24 MHz 选取,典型值为 12 MHz 和 6 MHz。外接电路(指前面讲的连接到 XTAL1 和 XTAL2 两个引脚上的电路)与单片机内的高增益反相放大器共同构成一个稳定的自激振荡器,向单片机提供稳定的脉冲,其频率由晶体振荡器决定。关于晶体振荡器的介绍可以查看本项目后“拓展延伸”模块。图 2-4 是 AT89C51 的外部时钟电路,左右两边为不同制造工艺的单片机各自的外部时钟电路,它们都是将一个稳定的脉冲直接输入单片机,HMOS 型单片机的脉冲从 XTAL2 引脚输入,XTAL1 引脚接地;而 CHMOS 型单片机的脉冲从 XTAL1 引脚输入,XTAL2 引脚悬空(什么也不接)。当要求单片机与其他设备(如其他单片机)具备严格一致的时钟脉冲时,可以采用这种时钟电路,从而避免晶振频率误差带来的时钟脉冲不同步问题。

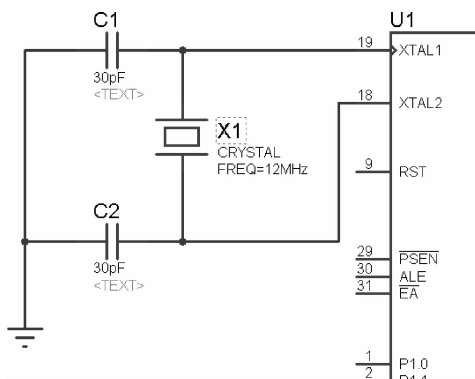


图 2-3 AT89C51 的内部时钟电路

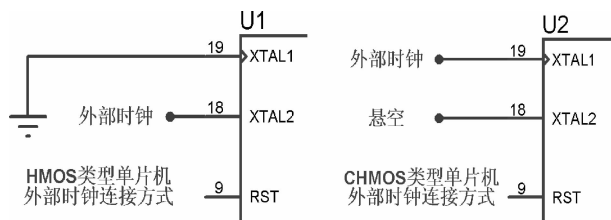


图 2-4 AT89C51 的外部时钟电路

图 2-5 所示为单片机时序划分,图中的脉冲即时钟电路提供给单片机的电压脉冲。从图中的 P1 可以看到,电压低—高变化一次称为一个时钟周期,图中共有 12 个时钟周期;两个时

钟周期称为一个状态周期;S1~S6 共 6 个状态周期称为一个机器周期。一个机器周期由 12 个时钟周期组成,如果采用内部时钟电路,晶振的频率是 12 MHz,那么时钟频率就是 12 MHz。时钟频率表示 1 s 内电压变化的次数,因此 1 个时钟周期的时间是 $1/(12 \times 10^6)$ s,1 个机器周期就是 $12/(12 \times 10^6)$ s,也就是 $1/(1 \times 10^6)$ s,即 0.000 001 s(0.001 ms 或 1 μ s)。当采用不同频率的晶体振荡器时,机器周期的算法不变。

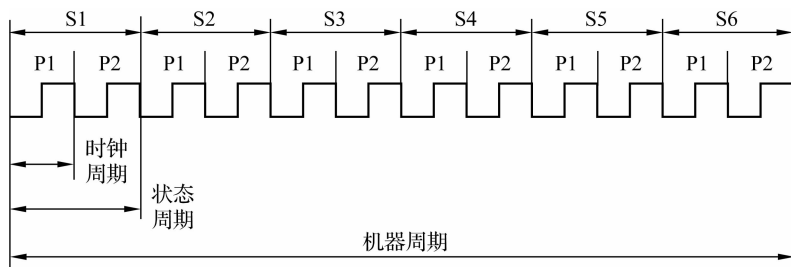


图 2-5 单片机时序划分

单片机就是在上述时钟脉冲的作用下,在特定的状态周期完成特定的步骤,从而一步一步完成 1 条指令的。需要说明的是,单片机的 1 条指令执行所需要的时间不同,有些指令需要 1 个机器周期,有些需要 2 个机器周期,有些需要 4 个机器周期,具体可以查看本书附录。

3. 复位电路

单片机是一种按照编制好的程序运行的元件,而程序是由很多条指令组成的,那么当电源通电单片机开始工作的时候,你希望单片机从程序的众多指令的最开始运行,还是希望单片机从任意位置的指令开始运行而且每次通电时开始的位置不一样呢?显然为了系统工作的安全性和可靠性,我们希望单片机每次都从程序中众多指令的确定位置开始运行。在将编写的程序写入单片机时,每条指令被编译成若干能被单片机识别的机器码,并且存储在单片机的不同存储单元中。为了区别这些存储单元,每个存储单元都有一个固定的编号,这些编号称为存储单元的地址。在单片机运行程序时,应该执行哪一条指令由一个名为“程序计数器(PC)”的存储区域存储的数值决定,这个单元存储的数值被作为单片机将要执行的指令的存储地址,也就是说,PC 中的数值指定了下一条被执行的指令存储的位置。当单片机运行时,PC 的数值在不断变化,要使每次通电时单片机都能从程序的开头开始,就需要在每次给电时将 PC 的数值设置成一个固定值,并且将第一条指令存储在以这个数值为地址的存储单元中。实际上,单片机提供了复位功能,执行复位操作后 PC 存储的数值被设置为 0。由于单片机的程序自动从最小地址开始存储,也就是第一条指令存储在编号为 0 的单元,因此,只要使单片机每次通电都能执行复位操作,那么就能使单片机每次都从第一条程序开始运行了。

MCS-51 单片机执行复位操作的条件是在 RST 引脚上有持续时间大于 2 个机器周期的高电平。不同型号的单片机及不同的引脚对高电平的的范围界定不同,根据 AT89C51 的产品数据手册,RST 引脚的电压大于 $0.7V_{CC}$ 时就判断为高电平,即如果电源电压是 +5 V,那么 AT89C51 的 RST 引脚电压大于 3.5 V 时即为高电平。对于 AT89C51 单片机,当在 RST 引脚上加上大于 3.5 V 的电压并且持续时间超过 2 个机器周期时,单片机就会执行复位操作。实际上,为了满足使用需要,当单片机执行复位操作时,不仅 PC 存储的数值被设置为固定

值,还有一些特殊的存储单元(称为特殊功能寄存器)也被设置为固定值,具体数值见表 2-1。

表 2-1 复位后寄存器的状态

寄存器	复位状态	寄存器	复位状态	寄存器	复位状态
PC	0000H	A	00H	B	00H
PSW	00H	SP	07H	DPTR	0000H
P0-P3	FFH	IP	××000000B	IE	0×000000B
TMOD	00H	TCON	00H	T2CON	00H
TH0	00H	TL0	00H	TH1	00H
TL1	00H	SCON	00H	SBUF	××H
PCON	0×××0000B				

表 2-1 中,×表示数值不定,后缀 H 表示为 16 进制数,后缀 B 表示为二进制数。上述数制的知识可以参看本项目后“拓展延伸”模块,表中寄存器的用途将在后续课程中逐步介绍。MCS-51 系列单片机为 8 位单片机,因此单片机的一个存储单元可以存储 8 位二进制数,即 1 个字节二进制数。每一位 16 进制数可以由 4 位二进制数表示,因此 2 位 16 进制数可以转换为 8 位二进制数。从表 2-1 中可以看出,大部分寄存器都是一个存储单元,其数值为 8 位二进制数或 2 位十六进制数;PC 和 DPTR 两个寄存器是 4 位 16 进制数,也就是 16 位二进制数,因此它们是由两个存储单元组成的,这与它们需要存储的数值较大有关。

前文讲到,为了单片机正常工作 PC 需要上电复位,在一些情况下单片机运行过程中需要进行复位,从头开始执行程序,如同手机、计算机卡顿时需要重启,这种复位方式称为手动复位。图 2-6 为上电自动复位电路,图 2-7 为手动复位+上电自动复位的完整复位电路。图 2-6 中,C2 为极性电容,横杠端为其正极。上电自动复位电路利用了电容隔直通交和充放电的性质,电源通电的短暂时间电容充电,使电阻中流过足够的电流,从而使 RST 引脚获得高电压。在充电过程中电流逐渐变小,充电结束电路中电流消失,RST 引脚电压降为 0。RST 引脚上高电平的维持时间是由电容的充电时间决定的,电容的充电时间可以根据电路电压及阻抗等参数计算,图中给出的参数能够满足单片机执行一次复位所需要的高电平持续时间。手动复位电路采用手动开关控制图中 10K 电阻是否与电源接通,从而控制 RST 上是否为高电平,单片机是否复位。为了使单片机能够正常、重复、连续工作,需要正确连接单片机的复位电路。

4. 控制电路

单片机的控制电路用于控制单片机从片外还是片内读取程序。单片机的 $\overline{\text{EA}}/\text{V}_{\text{PP}}$ 引脚(图 2-1 第 31 脚)的电压控制单片机读取程序的位置,当该引脚为高电平时,单片机先读取片内程序存储器,当该引脚为低电平时,单片机只读取片外程序存储器。项目一我们介绍单片机不同型号的参数时,可以看到有的型号单片机片内程序存储器容量大一些,有的型号根本就没有片内程序存储器。使用无片内程序存储器的单片机时应当将 $\overline{\text{EA}}/\text{V}_{\text{PP}}$ 引脚连接到地线以设置为低电平,从而使单片机从外接的片外程序存储器读程序。如果使用有片内程序存储器的单片机且程序存储于片内,应当将 $\overline{\text{EA}}/\text{V}_{\text{PP}}$ 引脚连接到电源以设置为高电平,否则存储在片内程序存储器中的程序将无法被读出,单片机不能工作。

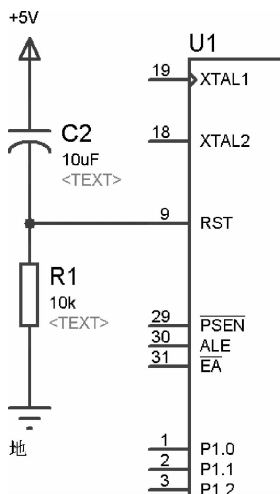


图 2-6 上电自动复位电路

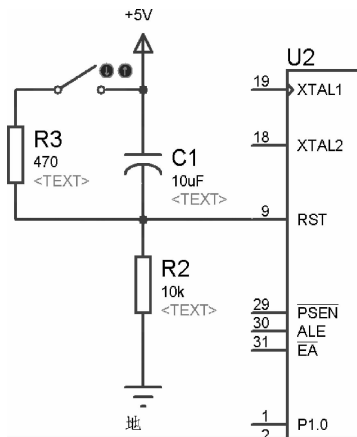



图 2-7 手动复位 + 上电自动复位的完整复位电路

二、用 Proteus 绘制单片机最小系统

Proteus 是英国 Lab Center Electronics 公司出版的 EDA 工具软件，它不仅具有其他 EDA 工具软件的仿真功能，还能仿真单片机及其外围器件，是比较好的仿真单片机及其外围器件的工具。本书电路绘制和仿真运行的学习内容采用 Proteus 软件，读者可以自行搜索和安装该软件进行学习。

安装软件后，先在桌面或软件安装文件夹内找到蓝色“ISIS”图标 ，ISIS.EXE 是 Proteus 中的电路设计与仿真软件，双击打开软件。软件打开后可能出现图 2-8 所示界面，也可能是英文版，单击“取消”按钮，随后可能出现图 2-9 所示界面，单击“确定”按钮，就进入图 2-10 所示绘图界面，可以开始绘图了。

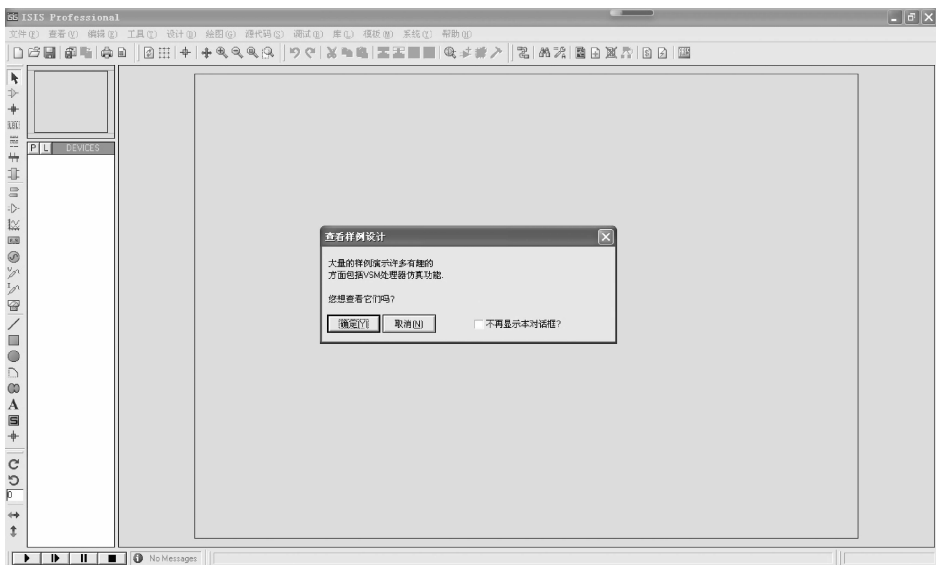


图 2-8 绘图前界面 1

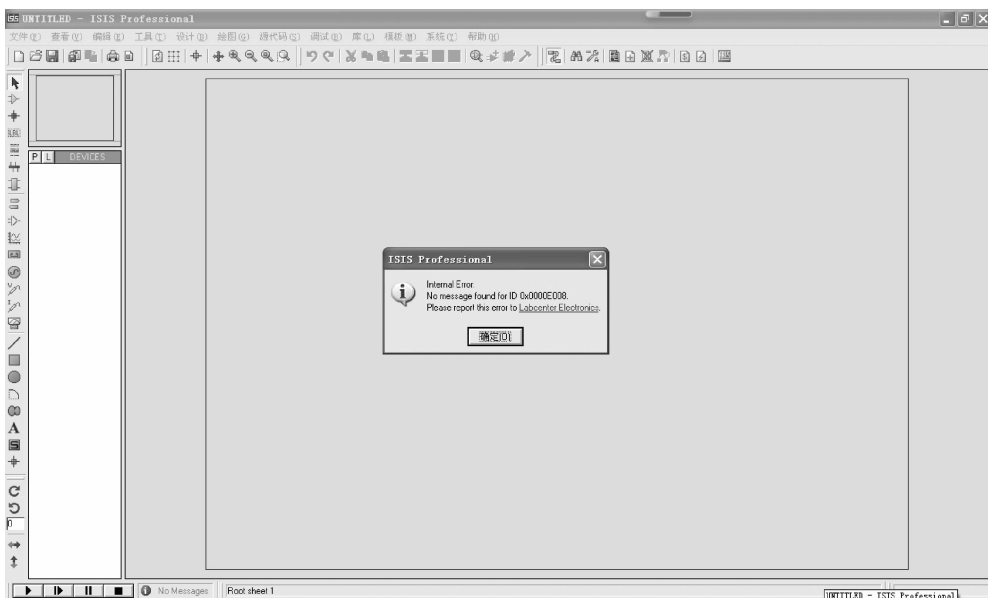


图 2-9 绘图前界面 2

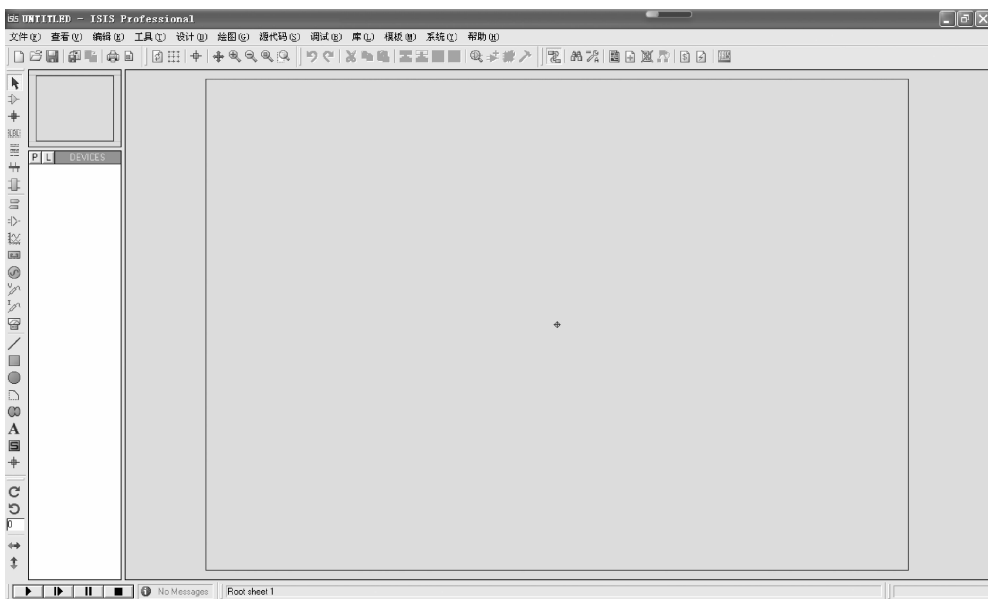


图 2-10 绘图界面

1. 找到所需元件

Proteus 含有丰富的元件库,要绘制单片机最小系统,需要先把用到的元件从库中挑选出来。图 2-10 中左侧有一列图标。用鼠标单击第二个图标,此时选中了元件模式,如图 2-11 所示。再单击图 2-11 中“P”图标,出现图 2-12 所示对话框,在该对话框内进行元件选择。在“关键字”文本框内输入 at89c51(大小写不影响搜索结果),界面发生变化,如图 2-13 所示。

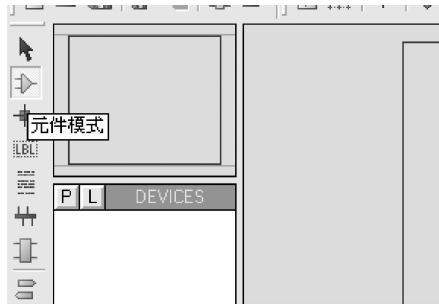


图 2-11 元件模式



图 2-12 元件选择对话框局部

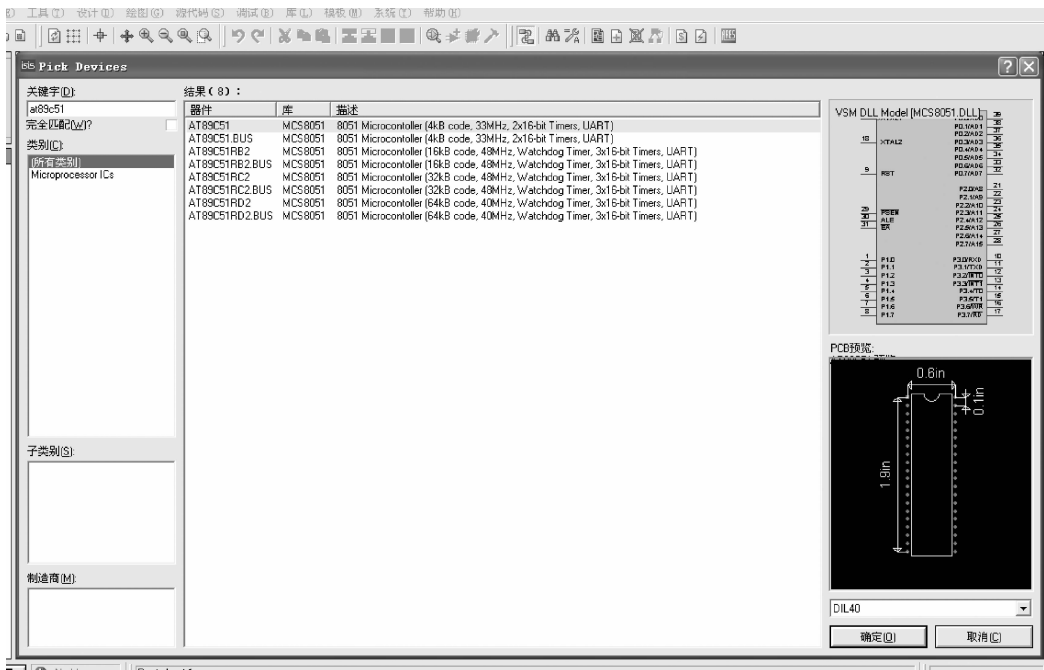


图 2-13 选择 AT89C51

在图 2-13 中,关键字下面竖向排列的三个空白栏显示的依次是当前元件所属类别、子类别和元件制造商,图中只显示了元件所属类别信息,其余为空白,即不是所有元件都会显

示全部信息。图 2-13 中间最大的矩形栏显示的是搜索结果,从图中可以看到符合关键字“AT89C51”的搜索结果共有 8 条,它们是不同的 AT89C51 单片机。在界面的右侧分为上下两栏,上面显示的是当前元件的电路符号,下面显示的是当前元件的封装信息,从中可以看到元件尺寸参数,图中显示的是当前类型单片机的长宽尺寸和引脚间距。从中间搜索结果栏深色背景条位于 8 个搜索结果的第一个可以看出,当前元件即为搜索结果的第一个元件,可以通过单击其他搜索结果改变选中的当前元件,从而显示其他元件的信息。

以第一个搜索结果为例,双击第一个元件,原本“P”图标下面空白的栏里出现了双击的元件名“AT89C51”,如图 2-14 所示,这表示已经将 AT89C51 从元件库中选出来并放在“DEVICES”区域待用了。

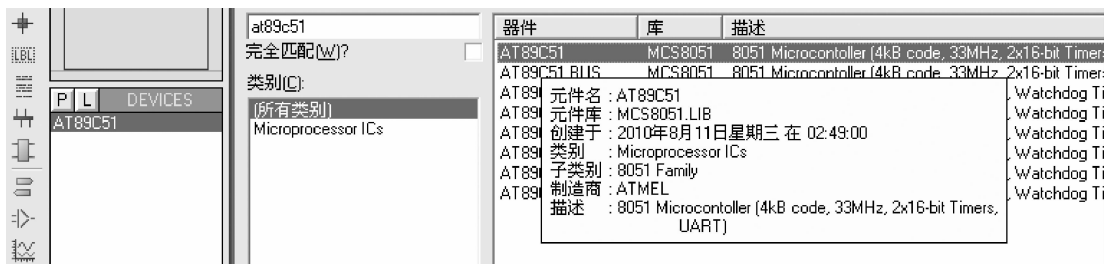


图 2-14 选出 AT89C51 示意图

当不知道元件的型号时,例如,需要一个 10 kΩ 电阻,可以搜索这个元件的英文名。在“关键字”文本框中输入“resistor”,就会搜索出电阻元件,如图 2-15 所示。注意右下角,这是一个没有封装信息的原始模拟元件。实际上在“关键字”文本框里打入前三个字母“res”时出现了名为“RES”的器件,如图 2-16 所示,这是通用电阻元件。注意右下角,这个元件是有封装信息的,在使用这个元件时还可以通过修改元件属性来选择不同的引脚距离。如果仅是绘制电路图做模拟运行,那么选择这两种电阻的哪一种都不会有影响。但如果要实际制作电路,需要确定电阻型号,有时也需要确定电阻的引脚距离,这时就可以用电阻的型号搜索元件,也可以在电阻元件库里选择符合要求的电阻。在这里不讨论实际电路的制作,选择“RES”元件。

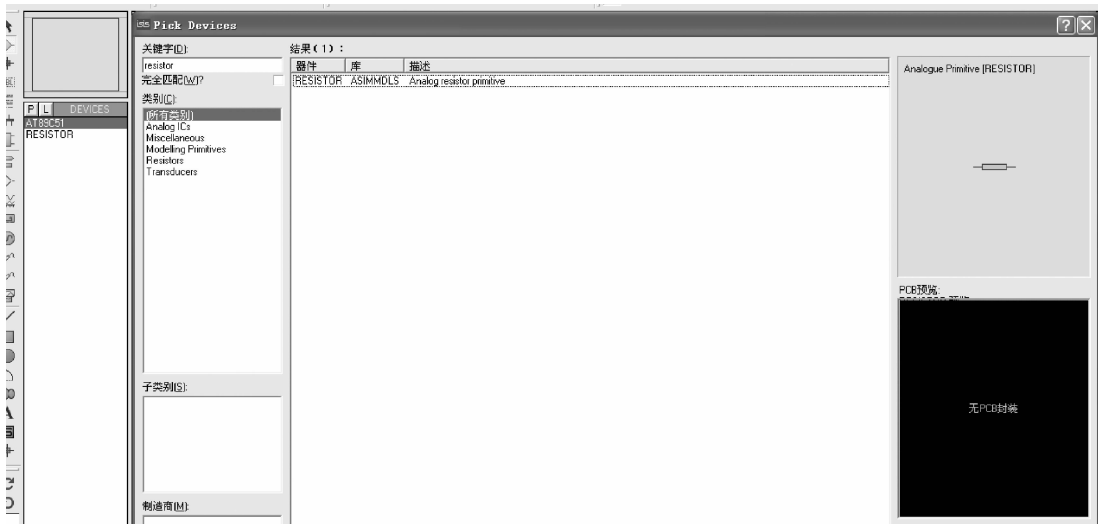


图 2-15 模拟电阻元件的搜索

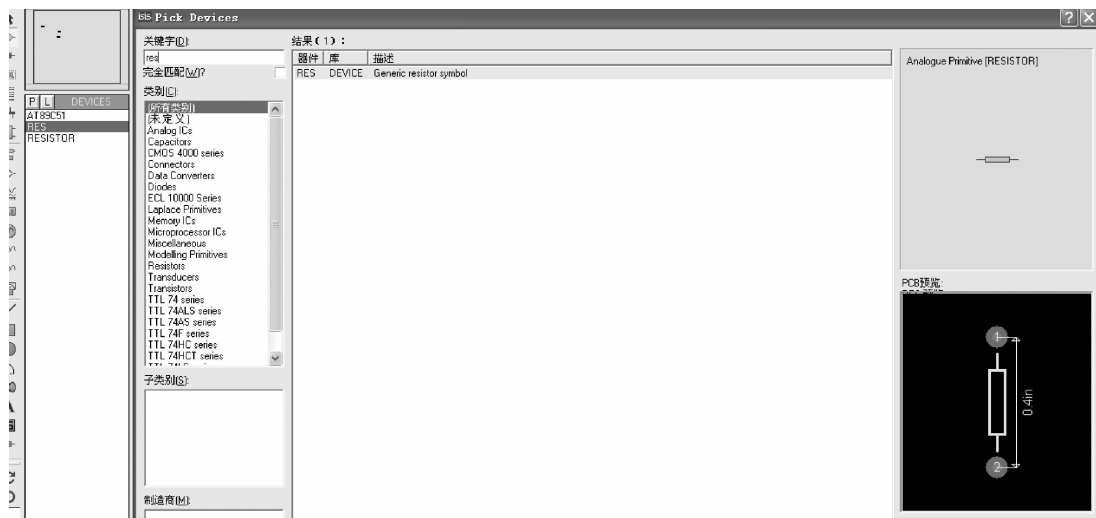


图 2-16 通用电阻元件的搜索

单片机最小系统需要的其他元件从库中找出的方法与上述相同,图 2-17 是全部元件挑出待用的示意图。其中电容元件选择了极性电容,横杠侧为正极,弧线处为负极。从图中可以看到,最小系统需要用到的+5 V 电源和地线未在列表中,这两个部分需要在“终端模式”中选择。如图 2-18 所示,单击左侧竖排图标的第八个,此时左侧空白栏的内容变为终端列表,电源“POWER”和地线“GUROND”就在其中。

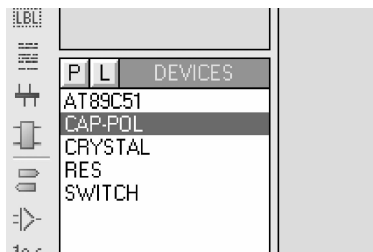


图 2-17 元件挑选完毕

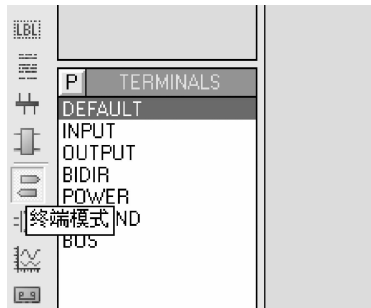


图 2-18 电源和地线位置

2. 放置元件

如图 2-17 所示,先单击左侧竖列第二个图标,选择“元件模式”,然后在左侧待用元件栏内单击“AT89C51”。将鼠标移至中间绘图区域,单击一下,此时鼠标指针位置已经出现了单片机的电路符号。移动鼠标至合适区域,单击即可将单片机放置在绘图区域。其他元件的放置方法与单片机相同,电源和地线在“终端模式”选取,其余方法都相同。图 2-19 为元件放置完毕示意图。

对照前文所述复位电路和时钟电路看图 2-19 可以发现,有的元件需要旋转,有的元件参数不对,单片机没有 V_{CC} 和 GND 引脚。将鼠标放在元件符号上,注意要放在符号上,不要放在元件旁边的文字上,然后右击,会出现图 2-20 所示菜单,在这个菜单中有拖曳、编辑、删除、旋转和镜像等操作。想要将元件旋转,选择顺时针旋转或逆时针旋转即可。