

单片机开发入门

与

典型设计实例



白林峰 曲培新 左现刚 主编



单片机开发入门与 典型设计实例

白林峰 曲培新 左现刚 主编



机械工业出版社

078070019

本书主要介绍了 MCS-51 系列单片机系统开发软件 (Keil、Proteus、程序下载工具)、系统电路设计、C 语言程序设计和电路仿真等相关技术。书中共设置 23 个项目设计实例,其中单片机程序设计基础 9 个,主要介绍单片机内部资源的应用、C 语言程序设计基础、LED 驱动、数码管驱动、按键等单元项目,其中电子表设计是检验程序设计能力的实训项目;单片机系统设计提高项目 13 个,主要介绍单片机外部器件的应用电路与程序设计方法,如温度传感器 DS18B20、I²C 总线、串行接口、A-D 转换器、D-A 转换器、实时时钟 DS1302、单色和彩色 LCD 以及单片机系统常用驱动电路和接口电路等,其中汉字屏设计为提高项目的综合训练内容;项目 23 为单片机系统综合设计内容,介绍了含有 VB 上位机程序设计和 PCB 设计的系统开发一般过程。

本书列举的项目实例详尽地总结了 MCS-51 系列单片机产品开发实践过程中所涉及的应用系统,项目设计以应用为目的,以系统实现为最终目标,分难度和深度阶梯进行内容设置。

本书适合于单片初学人员、广大单片机发烧友和专业技术人员阅读,也可作为高等院校相关专业的教材和参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机开发入门与典型设计实例/白林峰,曲培新,左现刚主编. —北京:机械工业出版社,2013.8

ISBN 978-7-111-43463-4

I. ①单… II. ①白…②曲…③左… III. ①单片微型计算机—系统开发 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 170061 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:任鑫 责任编辑:任鑫 版式设计:霍永明

责任校对:王欣 封面设计:赵颖喆 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 18 印张 · 440 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-43463-4

定价:45.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面防伪标均为盗版

前 言

单片机系统包含硬件和软件两部分。硬件主要指系统电路,反映系统的组成结构,由单片机和外部元器件按照一定的电气特性连接而成。软件主要指运行在单片机内的程序,是系统的核心部分,单片机系统的功能靠程序运行来实现。一般初学者了解了单片机及其外部常用元器件引脚功能与特性,很快就能掌握电路的工作原理,但要做到熟练地对单片机进行开发,还需要精通程序设计。程序设计是单片机系统设计的难点,也是学习单片机技术的重点。单片机应用系统是复杂的数字系统,其硬件可以划分为若干个单元电路,程序中也含有相关的模块与之对应。如果我们把复杂的单片机系统分解成很多单元项目,然后对每一个项目进行分析、设计,并掌握电路、程序的模块划分与组合,就能大大简化单片机系统的实现难度,也能大大降低学习单片机技术难度。因此,本书采用单元项目设计引导的方式逐步深入介绍单片机开发所涉及的相关技术。

本书中内容从易到难共安排了 23 个项目,并对每个项目的实现过程做详细的指导。所有项目的程序大部分采用 C 语言精简设计,内容完整、运行可靠。程序可以通过仿真电路运行,也可以直接下载到实验开发板上运行。本书中的项目程序和仿真电路以及其他一些相关资料,均可通过机械工业出版社官方网站 (www.cmpbook.com) 下载。

在本书所安排的项目中,项目 1~9 个为单片机程序设计的基础,主要训练读者对 C 语言基础和单片机的程序设计能力,其中电子表设计是检验程序设计能力的实训项目;项目 10~22 是提高内容,主要训练读者对单片机外部器件的应用技能与程序设计能力;项目 23 为单片机系统综合设计内容,是单片机技术应用综合实训内容。综合设计项目包含程序设计、电路设计、电路组装与调试,项目的实现需要读者有一定的硬件和软件设计基础。

项目设计更能调动读者的学习兴趣及创新意识,也是使读者快速掌握单片机技术的新形式、新手段。本书所列举的单片机项目以实际应用为基础,程序以独立的功能的单元电路为依据,详尽总结了 MCS-51 系列单片机产品开发实践过程中所涉及的系统、程序和电路。项目设计的难度和深度阶梯设置,以最终实现为目标。简单项目是单片机系统设计的基础,提高项目是单片机技术开发的应用单元。读者只有掌握简单项目设计,并在单片机技术学习的过程中不断地积累,循序渐进,才能逐渐具备单片机系统设计或产品开发能力。

本书按照单片机技术应用深度和难度共分为 7 章,项目设计内容主要分布在第 3~第 7 章。第 1 章由李国厚编写,主要介绍单片机系统电路组成与设计基础,并对单片机系统运行做简单介绍,以及读者需掌握单片机内部结构和外部一般特性;第 2 章由段世政编写,主要介绍单片机开发常用的软件,读者需掌握的单片机程序设计工具 Keil、电路仿真软件 Proteus 以及市场上主流的 MCS-51 系列单片机经常使用的程序下载工具;第 3、4 章由白林峰、曲培新编写,是单片机程序设计的基础,并在充分挖掘 MCS-51 和增

强型 51 系列单片机内部资源基础上, 深入讲解了单片机 C 语言程序设计的技巧; 第 5、6 章由左现刚、王应军编写, 主要介绍单片机系统常用的外部器件, 是设计复杂单片机系统的硬件和软件基础; 第 7 章由曾祥进编写, 为综合设计训练项目, 通过基于上位机测温系统的实现过程, 介绍了上位机程序设计、电路设计与系统调试内容; 附录部分由王应军整理。本书在编写过程中还得到华中科技大学龚军老师的热心指导, 在此表示真诚的谢意。

本书可用于单片机产品开发与项目设计培训、单片机技术认证培训、单片机相关的赛前培训, 也可用于大专院校电子信息类专业的单片机原理与应用课程教学或单片机技术实习、实训指导。

由于作者经验和水平有限, 书中难免出现错误和不妥之处, 敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

前言

第1章 单片机技术基础	1
1.1 单片机概述	1
1.1.1 单片机的基本概念	1
1.1.2 单片机的内部结构与硬件资源	3
1.1.3 单片机的外部引脚	5
1.2 单片机内部主要部件	8
1.2.1 CPU	8
1.2.2 存储器	10
1.2.3 专用寄存器	11
1.2.4 特殊功能寄存器	13
1.3 单片机系统的电路组成	16
1.3.1 单片机最小系统	16
1.3.2 单片机系统的工作模式	19
1.3.3 单片机应用系统	20
1.4 单片机的程序语言与数据	23
1.4.1 汇编语言程序	23
1.4.2 单片机的C语言程序	26
1.4.3 数制转换与编码	27
1.4.4 机器数	31
思考题	32
第2章 单片机系统开发常用软件	33
2.1 单片机程序设计与开发平台	33
2.1.1 Keil μ Vision3 的工作界面	33
2.1.2 Keil 程序设计	33
2.1.3 调试程序	39
2.2 单片机系统仿真与调试	42
2.2.1 Proteus ISIS 的工作界面	42
2.2.2 电路原理设计	44
2.2.3 仿真与调试	48
2.2.4 Proteus 与 Keil 的联合调试	49
2.3 单片机的程序下载与硬件仿真	51
2.3.1 单片机的下载接口	51
2.3.2 下载软件	53
2.3.3 下载过程	53
思考题	57
第3章 单片机程序设计基础	58

3.1 单片机的C语言	58
3.1.1 C51 的特点	58
3.1.2 C51 的数据	59
3.1.3 C51 的运算符	62
3.1.4 C51 中常用的函数	63
3.1.5 单片机C语言的结构	64
3.1.6 数制与码制	65
3.2 单片机驱动一个LED闪烁	66
3.2.1 单片机I/O接口输出与驱动	67
3.2.2 P0.0 接口驱动LED闪烁 (项目1)	68
3.2.3 流水灯程序设计(项目2)	71
3.2.4 数组与应用	73
3.3 数码管驱动	75
3.3.1 数码管的显示原理	75
3.3.2 数码管0~9显示程序设计 (项目3)	77
3.3.3 函数调用	78
3.3.4 主程序与子程序	80
3.4 单片机系统的按键(项目4)	82
3.4.1 按键抖动现象	82
3.4.2 单按键输入程序	83
3.4.3 4×4 键盘矩阵	87
思考题	89
第4章 单片机内部硬件资源及应用	91
4.1 单片机的中断系统	91
4.1.1 中断系统简介	91
4.1.2 中断响应	95
4.1.3 中断服务函数	98
4.1.4 利用外部中断实现按键的输入 (项目5)	100
4.2 MCS-51 系列单片机的定时器	101
4.2.1 单片机的定时器/计数器结构	101
4.2.2 定时器的工作方式	102
4.2.3 定时器/计数器的初始化	104
4.2.4 单只数码管秒显示(项目6)	105
4.2.5 6位数码管动态显示(项目7)	107

4.3 单片机串行通信	111	(项目 15.1)	170
4.3.1 串行通信原理	111	5.4.3 A-D 转换器 TLC549 的应用	
4.3.2 单片机的串行接口	112	(项目 15.2)	174
4.3.3 串行接口的工作方式	114	5.4.4 D-A 转换器 TLC5615 的应用	
4.3.4 单片机通信电路接口	119	(项目 16)	178
4.3.5 PC 与 MCS-51 系列单片机的串行		5.5 单片机常用的接口电路	182
通信 (项目 8)	120	5.5.1 并行锁存器	182
4.4 电子表程序设计 (项目 9)	122	5.5.2 串行移位寄存器	183
4.4.1 功能分析	122	5.5.3 驱动器 ULN2003 的应用	
4.4.2 电路设计	123	(项目 17)	186
4.4.3 程序设计	123	思考题	191
4.5 增强型 51 系列单片机的内部特殊		第 6 章 字符点阵显示	192
部件	131	6.1 LCD1602 单色字符液晶显示模块	
4.5.1 单片机内部特殊部件	131	(项目 18)	192
4.5.2 单片机片内看门狗定时器的使用		6.1.1 LCD1602 液晶显示模块工作原	
(项目 10)	133	理	192
4.5.3 单片机片内 A-D 转换器的使用		6.1.2 LCD1602 的操作指令	194
(项目 11)	136	6.1.3 LCD1602 的驱动程序设计	197
思考题	139	6.1.4 LCD1602 的应用	199
第 5 章 单片机外围常用器件及其应		6.2 LCD12864 的原理与应用	
用	141	(项目 19)	200
5.1 数字温度传感器 DS18B20 的应用	141	6.2.1 LCD12864 点阵液晶显示模块的	
5.1.1 DS18B20 的功能原理	141	工作原理	200
5.1.2 DS18B20 的工作时序	143	6.2.2 LCD12864 的驱动程序设计	203
5.1.3 DS18B20 的指令	145	6.2.3 LCD12864 的应用	212
5.1.4 DS18B20 的驱动程序设计	146	6.3 彩屏液晶 TFT 的原理与应用 (项	
5.1.5 数字温度计设计 (项目 12)	149	目 20)	214
5.2 I ² C 总线器件 AT24C04 及其应用	152	6.3.1 彩色液晶显示模块概述	214
5.2.1 I ² C 总线的构成和信号类型	152	6.3.2 彩色液晶显示模块介绍	215
5.2.2 AT24C04 的应用原理	154	6.3.3 驱动程序设计	218
5.2.3 AT24C04 的驱动程序设计	156	6.4 LED 点阵显示屏	224
5.2.4 AT24C04 的应用 (项目 13)	158	6.4.1 LED 点阵结构及显示原理	225
5.3 实时时钟 DS1302 的原理与应用		6.4.2 LED 8×8 点阵字符显示 (项	
(项目 14)	160	目 21)	227
5.3.1 DS1302 的功能	160	6.4.3 LED 汉字屏原理与设计 (项	
5.3.2 DS1302 的寄存器和控制指令	161	目 22)	230
5.3.3 DS1302 的读写时序与驱动程		6.4.4 16×16 汉字点阵显示程序设计	232
序	162	思考题	236
5.3.4 DS1302 的应用	165	第 7 章 单片机系统设计 (项目 23)	237
5.4 A-D、D-A 转换器及其应用	169	7.1 VB6.0 可视化窗口设计基础	237
5.4.1 A-D 转换器、D-A 转换器参数		7.1.1 VB6.0 介绍	237
描述	169	7.1.2 可视化窗口设计步骤	240
5.4.2 A-D 转换器 ADC0832 的应用		7.1.3 常用控件及函数	242

7.2 Protel 99SE 电路设计基础	243	7.4 单片机测温程序与系统调试	259
7.2.1 Protel 使用简介	244	7.4.1 程序设计	260
7.2.2 原理图设计	248	7.4.2 联机通信	265
7.2.3 PCB 设计	249	7.4.3 综合项目设计总结	266
7.3 上位机程序设计	253	综合设计练习	267
7.3.1 上位机窗口设计	253	附录	269
7.3.2 程序添加	256	附录 A MCS-51 系列单片机汇编指令集 ...	269
7.3.3 程序运行	258	附录 B C51 常用头文件	272
7.3.4 制作可执行文件	258		

第1章 单片机技术基础

单片机是一种芯片化的计算机，具有数据处理和控制能力。它可以应用到很多电子设备中组成嵌入式系统，实现信号检测、数据处理与自动控制。本章从单片机原理与应用入手，介绍 MCS-51 系列单片机内部结构、外部引脚特性以及单片机内部的重要部件，并在此基础上，讲述单片机系统组成以及与单片机系统设计有关的常识。单片机内部结构、功能部件、外部引脚特性以及单片机系统电路组成原理是单片机项目设计的基础。

1.1 单片机概述

本节主要介绍单片机的基本概念、发展和应用领域，以 MCS-51 系列单片机为例说明单片机组成基本原理、内部结构和外部特性，并讲述单片机系统的电路基本原理，读者应重点掌握的单片机基本概念、单片机芯片 DIP40 封装和基本特性。

1.1.1 单片机的基本概念

1. 单片机的定义

日常生活中使用的计算机是一种微型计算机系统，由主机、显示器和键盘、鼠标、打印机等输入、输出设备组成。在计算机的主机内部，有 CPU、内存、显卡、硬盘、电源等部件，这些部件都插接在包含控制芯片和接口电路的主板上。主机通过与外部设备连接，在硬盘上安装了软件系统后，计算机就可以高速运行，在人的操作下完成各种工作，如程序设计、文档编辑以及上网聊天、玩游戏、看电影等功能。

单片机是单片微型计算机（Monolithic Microcomputer 或 Single Chip Microcomputer）的简称，是一种集成在一个芯片上的微型计算机系统。MCS-51 系列单片机内部结构如图 1-1 所示。单片机内部的各个部件实际上是计算机主板、CPU、硬盘、内存的简化，与常见计算机的主要区别在于其结构、组成以及应用领域不同。它把组成微型计算机的各种功能部件，包括 CPU、随机存取存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、基本输入/输出（I/O）接口电路、定时器/计数器、中断控制、系统时钟及系统总线等部件都集成在一块芯片内，构成一个完整的微型计算机硬件。单片机在早期的自动化生产控制领域中应用得十分广泛，因此常被称为微控制器（Microcontroller Unit，MCU）。

单片机的运行情况与计算机一样，也需要必要的硬件和软件。程序是单片机系统软件，

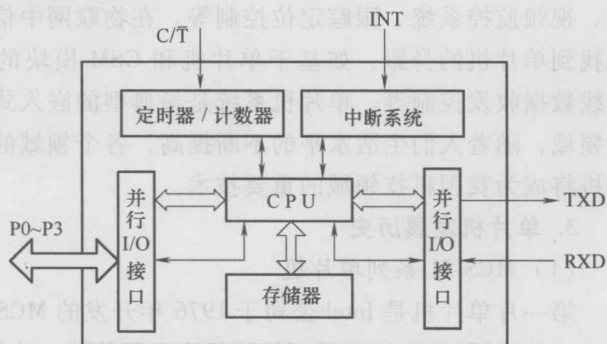


图 1-1 单片机内部结构示意图

通过程序下载软件把编制好的单片机程序下载到单片机内部 ROM 中, 就可以让单片机运行, 从而实现单片机的基本功能。低端单片机一般不能加载操作系统, 也不能处理复杂的数据运算, 但它是一种低成本的计算机系统, 各个功能部件在芯片中的布局 and 结构达到最优。

2. 单片机的应用

单片机只是一个单独的集成电路, 如图 1-2 所示。我们日常见到的交通信号灯控制、LED 汉字广告屏、电梯控制等电子系统常把单片机作为核心控制芯片。在实际应用中, 需要把单片机和外部器件或被控对象进行电气连接, 构成一个单片机应用系统。图 1-3 为一个由单片机和外部器件组成的校园自动打铃定时器电路原理图。系统中单片机主要用来定时, 键盘用来调整定时的时间点, 继电器用来控制电铃, 数码管用来显示当前时间。

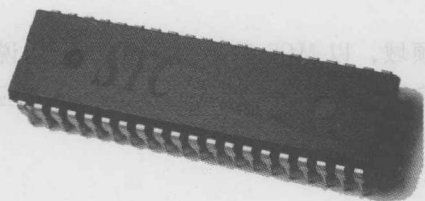


图 1-2 双列直插式 40 引脚单片机芯片

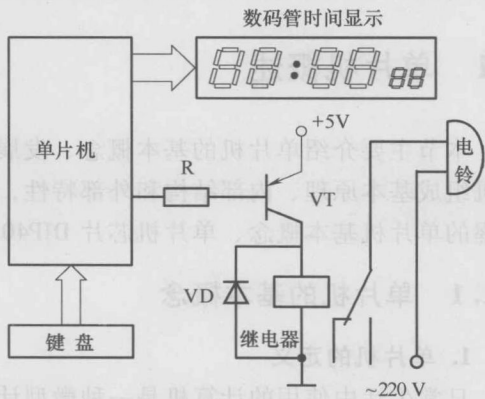


图 1-3 校园自动打铃定时器

单片机是一个简单的计算机系统, 具有一定的数据处理和通信能力, 并且电路和软件设计简单、成本较低, 因此被广泛应用于移动终端、工业系统、火灾报警系统、智能家电控制、视频监控系统、跟踪定位控制等。在物联网中信号的检测、信息的传送以及通信控制也能找到单片机的身影, 如基于单片机和 GSM 模块的无线抄表系统、实时检测系统, ZigBee 无线数据收发控制等。单片机系统是最典型的嵌入式系统, 现已经渗透到人们日常生活的各个领域, 随着人们生活水平的不断提高, 各个领域的自动化、智能化程度也将越来越高, 单片机将成为我国科技领域的重要技术。

3. 单片机发展历史

(1) MCS-51 系列单片机

第一片单片机是 Intel 公司于 1976 年开发的 MCS-48 系列单片机, MCS 是 Micro Computer System 的缩写。MCS-48 系列单片机本身即构成一个微机系统 (硬件部分)。20 世纪 70 年代是高性能单片机发展阶段, 这一阶段的单片机带有串行 I/O 接口、8 位数据线、16 位地址线、控制总线、较丰富的指令系统等, 应用范围较广, 并在不断地改进。1980 年, Intel 公司推出了 MCS-51 系列单片机, 包含 8 位 CPU、4KB ROM、128B RAM、4 个 8 位并行接口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时/计数器, 寻址范围 64KB, 并有功能较强的布尔处理器。Intel 公司的 MCS-51 系列单片机又称 51 或 8051 系列单片机, 代表型号有 8031、8051。

16 位单片机出现在 20 世纪 80 年代, 单片机内部除 CPU 为 16 位外, 内部的 RAM 和 ROM 容量进一步增大, 实时处理能力更强, 体现了微控制器的特征。例如 1982 年 Intel 公司推出的 MCS-96 系列单片机, 其片内 RAM 为 232B, ROM 为 8KB, 中断处理能力为 8 级, 片内带有 10 位模-数转换器 (Analog-to-Digital Converter, ADC)、1 路 PWM (Pulse-Width Modulation, 脉宽调制) 输出和高速输入/输出部件等。

20 世纪 90 年代以后, 随着微电子技术的发展和单片机在家用电器领域应用的不断深入, 单片机得到全面的发展, 运算能力更强的产品不断涌现。如具有 32 位数据处理能力的 ARM 系列单片机, 不但具有较强的运算能力, 而且能够运行基于 Linux 内核的操作系统。目前单片机不断向微型化、低功耗、高速化和多资源集成方向发展。

(2) MCS-51 系列单片机兼容产品

由于 MCS-51 系列单片机内部采用控制总线、数据总线和地址总线组成的三总线结构, 具有结构简单、通用性强的特点和完整的汇编指令集, MCS-51 系列单片机的出现对单片机发展影响深远。从 20 世纪 90 年代以后, Intel 公司把研发重点放在了 PC 产品上, 8051、8031 单片机已经渐渐退出市场。同时, 世界许多公司沿用或参考了 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机内核, 相继开发出与 MCS-51 系列单片机兼容的产品, 如 89C51、89C52 等。目前, 市场流行的 8 位单片机主要有宏晶公司的 STC 系列, Atmel 公司的 AT89 系列, Philips 公司的 80C51 和 80C52 系列, 华邦公司的 W78C51 和 W77C51 系列, ADI 公司的 AD μ C8 $\times\times$ 高精度 ADC 系列, LG 公司的 GMS90/97 低压高速系列, Maxim 公司的 DS89C420 高速 (50 MIPS) 系列, Cygnal 公司的 C8051F 系列高速 SoC (System on Chip, 片上系统) 单片机。

根据自身技术优势和市场需要, 很多公司在原 MCS-51 系列单片机基础上增加和扩展了单片机的很多功能, 如 Atmel 公司的单片机融入 FLASH 存储器技术, 宏晶公司的单片机支持 USB (Universal Serial Bus, 通用串行总线) 在线编程等。这些单片机又称为增强型 51 系列。

(3) 其他单片机

非 MCS-51 结构的单片机也有很多产品, 如 Intel 公司的 MCS-96 系列 16 位单片机、Microchip 公司的 PIC 系列 RISC 单片机、TI 公司的 MSP430 系列 16 位低功耗单片机、Atmel 公司的 AVR 系列单片机, 以及高速度和强大数据处理能力的 ARM 等。

单片机系列多样化给单片机系统设计提供了更多的选择空间, 但从目前国内的单片机使用情况来看, 51 兼容系列单片机仍然是使用最广泛的产品, 我们在电子市场很容易就可以买到如 STC89C51、STC89C52、AT89C51、AT89S51 等单片机。这些单片机都与 MCS-51 兼容, 但各自又有不同的技术特点和功能优势, 主要区别在于数据和程序存储空间的大小、程序下载方式、内部附加的功能部件等。

1.1.2 单片机的内部结构与硬件资源

单片机内部包含组成计算机所需的很多部件, 包括 CPU、RAM、ROM/EPROM、并行接口、串行接口、定时器/计数器、中断系统及特殊功能寄存器 (Special Function Register, SFR) 等功能单元, 如图 1-4 所示。这些单元通过片内的单一总线相连, 采用 CPU 加外围芯片的结构模式, 各个功能单元都采用特殊功能寄存器集中控制。

1. CPU

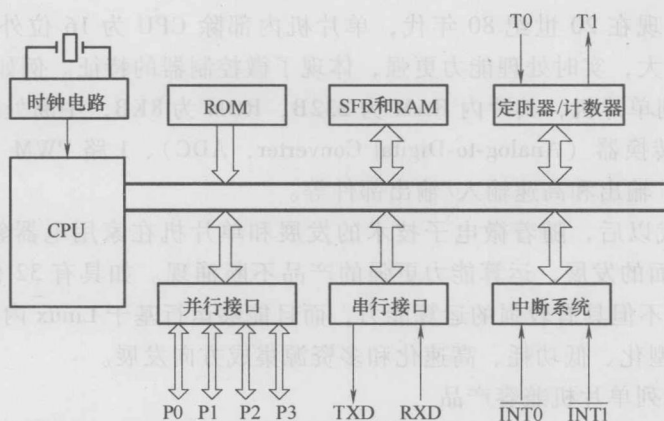


图 1-4 MCS-51 系列单片机架构

CPU 是单片机的核心，完成运算和控制功能。MCS-51 系列单片机的 CPU 字长是 8 位，能处理 8 位二进制数或代码，也可处理一位二进制数。

2. 片内数据存储器 RAM

MCS-51 系列单片机共有 256B 的 RAM 单元，其中 128B 被专用寄存器占用。作为存储单元供用户使用的是前 128B，用于存放程序运行产生的临时数据。通常所说的内部数据存储器就是指前 128 个单元，也称为片内 RAM。如果数据存储空间不够用，可根据实际需要，在片外扩展，最多可扩展 64KB，也可以购买片内 RAM 较大的单片机，如 STC89C58RD 的片内 RAM 为 1.2KB。

3. 片内程序存储器 ROM

MCS-51 系列单片机共有 4KB 的掩膜 ROM（只读存储器），用于存放程序、原始数据或表格，一般称为程序存储器，简称内部 ROM，兼容系列有 89C51、89S51。Intel 8031 没有程序存储器，可根据实际需要在片外扩展，最多可扩展到 64KB。在实际应用中，单片机已很少用外扩存储器方式来增加 ROM，因为外扩存储器的价格比买一个大容量 ROM 单片机成本要高很多，可以直接购买大容量 ROM 单片机即可，如 STC89C58RD 的片内 FLASH ROM 为 32KB。

4. I/O（输入/输出）并行接口

MCS-51 系列单片机共有 4 组 8 位 I/O 并行接口 P0 ~ P3，每个接口可以用作输入，也可以用作输出。

5. 定时器/计数器

MCS-51 系列单片机共有两个 16 位的定时器/计数器，具有 4 种工作方式。每个定时器/计数器都可以设置成计数方式，用以对外部脉冲进行计数；也可以设置成定时方式，用以对内部脉冲计数，并可以根据计数或定时的结果实现控制。

6. 串行接口

MCS-51 系列单片机有一个全双工的串行接口，具有 4 种工作方式，以实现单片机和其他设备之间的串行数据传送。该串行接口功能较强，既可作为全双工异步通信收发器使用，也可作为同步移位器使用。单片机与计算机之间的通信也可以通过单片机的串行接口实现。由于两者信号电平不同，单片机与计算机之间的通信需要通过 RS-232 接口电路实现。

7. 片内振荡器和时钟产生电路

MCS-51 系列单片机内部有时钟电路，但需要外接石英晶体谐振器和微调电容。时钟电路为单片机产生时钟脉冲。单片机系统的晶振频率一般为 6MHz、11.0592MHz 或 12MHz。

8. 中断系统

MCS-51 系列单片机的中断功能较强，可满足控制应用的需要。MCS-51 系列单片机共有 5 个中断源，即外部中断两个，定时器/计数器中断两个，串行通信中断一个，增强型的单片机多一个中断源 T2，见表 1-1。

表 1-1 中断源与入口地址

中断源	入口地址
外部中断 0	0003H
定时器/计数器 0	000BH
外部中断 1	0013H
定时器/计数器 1	001BH
串行接口	0023H
定时器/计数器 2	002BH

MCS-51 系列单片机还具有节电工作方式，由内部特殊功能寄存器进行控制，在应用中可以利用节电工作模式降低系统的功耗。

1.1.3 单片机的外部引脚

1. 单片机的封装和逻辑符号

单片机有很多不同型号和封装，常用的 AT89C51/52、STC89C51/52/54/58 单片机多采用 DIP 40 封装，也有 DIP 20、DIP 28 以及扁平封装等封装形式。图 1-5a 所示为双列直插式封装外形，图 1-5b 为扁平封装，图 1-5c 为 MCS-51 系列单片机的电路符号，其中电源正极和地两个引脚隐藏。40 个引脚按功能分为 4 个部分，即电源引脚（VCC 和 VSS）、时钟引脚（XTAL1 和 XTAL2）、控制信号引脚（RST、EA、PSEN 和 ALE）以及 I/O 接口引脚（P0 ~ P3）。

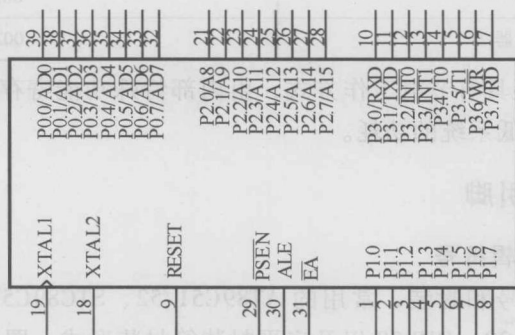
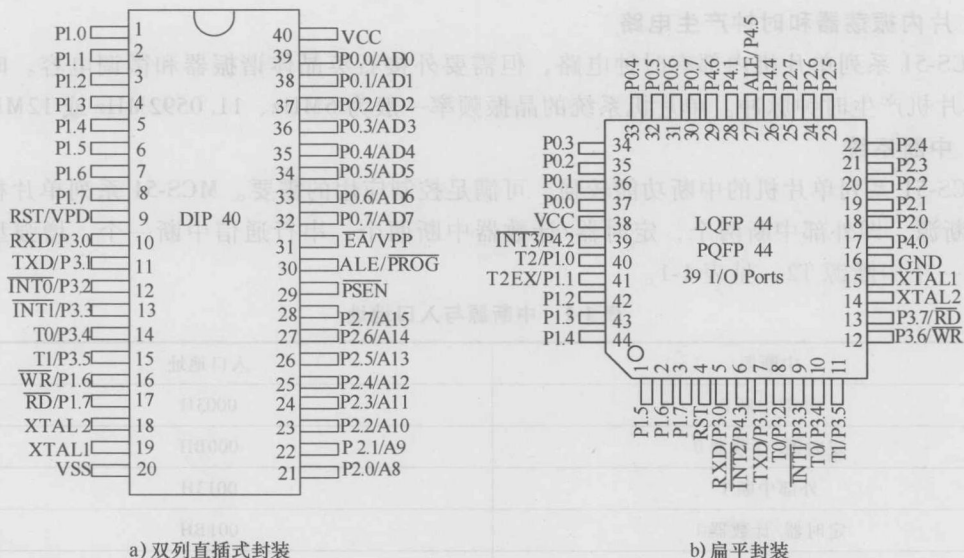
2. 引脚功能描述

(1) 电源引脚

在单片机的 DIP 40 封装中，40 脚为单片机电源正极引脚 VCC，20 脚为单片机的接地引脚 VSS。在正常工作情况下，VCC 接 +5V 电源。为了保证单片机运行的可靠性和稳定性，电源电压误差不应超过 0.5V。在移动的单片机系统中，可以用 4 节镍镉电池或镍氢电池直接供电，实验情况下也可以用三节普通电池或计算机的 USB 接口电源供电。在单片机系统电路中，一般采用集成稳压器 7805 提供电源。图 1-6 所示为简单的单片机集成稳压电源电路，为了提高电路的抗干扰能力，电源正极与地之间接有滤波电容。

(2) 控制引脚

在单片机 DIP 40 封装中，9 脚 RST/VPD 为复位/备用电源引脚，在此引脚加上两个机器周期的高电平就使单片机复位。单片机正常工作时，此引脚应为低电平。在单片机掉电期间，此引脚可接备用电源（+5V）。在系统工作的过程中，如果 VCC 低于规定的电压值，



c) MCS-51系列单片机电路符号

图 1-5 MCS-51 系列单片机的引脚分布图

VPD 就向片内 RAM 提供电源, 以保持 RAM 内的信息不丢失。

在单片机 DIP 40 封装中, 30 脚 ALE/PROG 为锁存信号输出/编程引脚。在扩展了外部存储器的单片机系统中, 单片机访问外部存储器时, ALE 用于锁存低 8 位的地址信号。如果系统没有扩展外部存储器, ALE 端输出周期性脉冲信号, 频率为时钟振荡频率的 1/6, 可用于单片机外部器件的时钟。对于 EPROM 型单片机, 此引脚用于输入编程脉冲。

在单片机 DIP 40 封装中, 29 脚 PSEN 为输出访问片外程序存储器的选通信号引脚。在 CPU 从外部程序存储器取指令期间, 该信号每个机器周期两次有效。在访问片外数据存储器期间, 这两次 PSEN 信号将不出现。

在单片机 DIP 40 封装中, 31 脚 EA/VPP 用于区分片内外低 4KB 范围程序存储器空间。该引脚接高电平时, CPU 访问片内程序存储器 4KB 的地址范围。若 PC 值超过 4KB 的地址范围, CPU 将自动转向片外程序存储器; 当此引脚接低电平时, 则单片机只访问片外程序

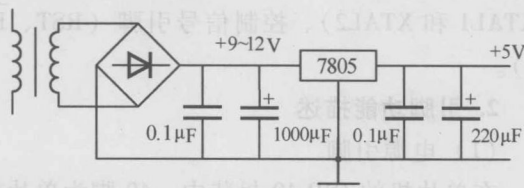


图 1-6 单片机集成稳压电源

存储器,忽略片内程序存储器。8031 单片机没有片内程序存储器,此引脚必须接地。对于 EPROM 型单片机,在编程期间,此引脚用于接入较高的编程电压 VPP,一般为 +12V。

(3) 单片机的 I/O 接口引脚

单片机的 I/O 接口是用来输入和控制输出的端口, DIP40 封装的 MCS-51 系列单片机共有 P0、P1、P2、P3 4 组接口,分别与单片机内部 4 个寄存器 P0、P1、P2、P3 对应连接,每组接口有 8 位,因此采用 DIP 40 封装的 MCS-51 系列单片机共有 32 个 I/O 接口。

P0 接口分别占用 32 ~ 39 脚,依次命名为 P0.0 ~ P0.7,与其他 I/O 接口不同,P0 接口是漏极开路(OD 门)的双向 I/O 接口,P0 接口中任意一位电路原理如图 1-7 所示,其中 P0.X 接口的输出与内部对应的寄存器 P0.X 状态一致。单片机在访问片外存储器时,P0 接口分时作为低 8 位地址线和 8 位双向数据总线用,此时不需外接上拉电阻。如果将 P0 接口作为通用的 I/O 接口使用,则要求外接上拉电阻或排阻,每位以吸收电流的方式驱动 8 个 LSTTL 门电路或其他负载。

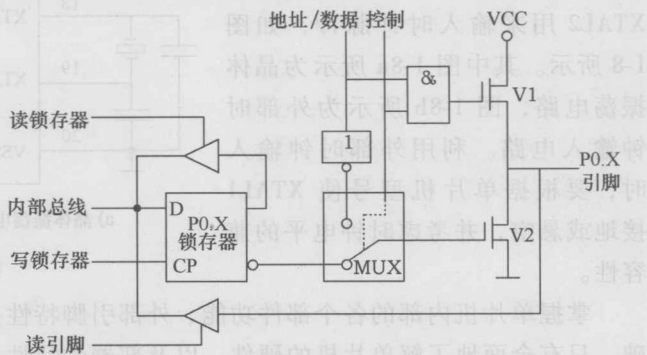


图 1-7 P0 口中一位的结构

P1 接口占用 1 ~ 8 脚,分别对应于 P1.0 ~ P1.7。P1 口是一个带内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 接口,每位能驱动 4 个 LSTTL 门负载。这种接口没有高阻状态,输入不能锁存,因而不是真正双向 I/O 接口。

P2 接口的 8 个端口占用 21 ~ 28 脚,分别对应于 P2.0 ~ P2.7。P2 接口也是一个带内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 接口。在访问外部存储器时,P2 接口输出高 8 位地址,每位也可以驱动 4 个 LSTTL 负载。

P3 接口的 8 个引脚占用 10 ~ 17 脚,分别是 P3.0 ~ P3.7。P3 口是双功能接口,作为普通 I/O 接口使用时,同 P1、P2 口一样,作为第二功能使用时,引脚定义见表 1-2。P3 接口具有的第二功能能使硬件资源得到充分利用,见表 1-2。

表 1-2 P3 接口的第二功能表

I/O 接口	第二功能定义	功能说明
P3.0	RXD	串行输入接口
P3.1	TXD	串行输出接口
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$	外部中断 0 输入接口
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$	外部中断 1 输入接口
P3.4	T0	T0 外部计数脉冲输入接口
P3.5	T1	T1 外部计数脉冲输入接口
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	外部 RAM 写选通脉冲输出接口
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	外部 RAM 读选通脉冲输出接口

(4) 时钟引脚

单片机有两个时钟引脚, 分别是 19 脚 XTAL1 和 18 脚 XTAL2, 用于提供单片机的工作时钟信号。单片机是一个复杂的数字系统, 内部 CPU 以及时序逻辑电路都需要时钟脉冲, 所以单片机需要有精确的时钟信号。

单片机内部含有振荡电路, 19 脚和 18 脚用来外接石英晶体和微调电容。在使用外部时钟时, XTAL2 用来输入时钟脉冲, 如图 1-8 所示。其中图 1-8a 所示为晶体振荡电路, 图 1-8b 所示为外部时钟输入电路。利用外部时钟输入时, 要根据单片机型号使 XTAL1 接地或悬空, 并考虑时钟电平的兼容性。

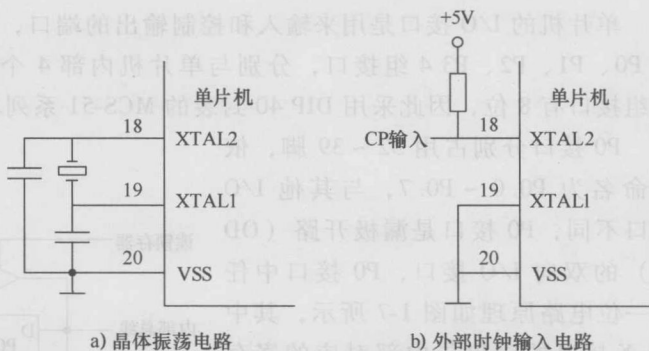


图 1-8 单片机时钟电路

掌握单片机内部的各个部件功能、外部引脚特性是分析和设计单片机应用系统的硬件基础。只有全面地了解单片机的硬件, 以及部器件特性, 才能熟练应用单片机系统所提供的硬件资源, 设计出性价比较高的应用系统。

1.2 单片机内部主要部件

MCS-51 系列单片机采用哈佛结构 (Harvard Architecture), 即数据和程序存储空间独立, 根据功能可将内部电路划分为 CPU、RAM、ROM/EPROM、并行接口、串行接口、定时器/计数器、中断系统及特殊功能寄存器 (SFR) 等 8 个主要部分。单片机内部结构框图如图 1-9 所示。单片机程序在硬件基础上运行。在单片机应用前, 首先需要了解单片机内部主要部件。

1.2.1 CPU

中央处理器 (CPU) 是单片机的核心, 其主要功能是产生各种控制信号, 根据程序中每一条指令的具体功能, 控制寄存器和输入/输出接口的数据传送, 进行数据的算术运算、逻辑运算以及位操作等。MCS-51 系列单片机的 CPU 字长是 8 位, 能处理 8 位二进制数, 也可处理一位二进制数。单片机的 CPU 从功能上一般分为运算器和控制器两部分。

1. 控制器

控制器由程序计数器 PC、指令寄存器 IR、暂存器 TMP、指令译码器 ID、数据指针 DPTR, 以及定时与逻辑控制电路等组成, 其功能是对来自 ROM 的指令进行译码, 通过定时电路, 在规定的时刻发出各种操作所需的内部和外部控制信号, 使各部分协调工作, 完成指令所规定的功能。

(1) 程序计数器

程序计数器 PC (Program Counter) 是一个 16 位的专用寄存器, 用来存放下一条指令的地址, 具有自动加 1 的功能。CPU 在取指令时, 将 PC 中的地址信息送到地址总线上, 从 ROM 中取出一个指令码后, PC 内容自动加 1, 指向 ROM 的下一个单元, 从而实现指令的顺



PC 用来指示程序的执行位置。在顺序执行程序时, 单片机每执行一条指令, PC 自动加 1, 指向下一条待取指令的存储单元的 16 位地址, 即 CPU 总是把 PC 的内容作为地址, 根据该地址从 ROM 中取出指令码或包含在指令中的操作数。每取出 1B 后, PC 的内容自动加 1, 为读取下 1B 做好准备。MCS-51 系列单片机的寻址范围为 64KB, 对应于 PC 中的数据范围 0000H ~ FFFFH。单片机复位时, PC 自动清零, 即装入地址 0000H, 使单片机在复位后, 程序从 ROM 的 0000H 单元开始执行。

指令寄存器 IR (Instruction Register) 是一个 8 位寄存器, 用于暂存待执行的指令, 等待

暂存器 TMP 用来暂存由数据总线 DB (Data Bus) 或通用寄存器送来的操作数, 并把它作为另一个操作数。

指令译码器 ID (Instruction Decoder) 是 CPU 的一部分, 用于对指令寄存器中的指令进行译码, 将存储在指令寄存器或微程序指令中的二进制代码转换为能控制 CPU 其他部分的控制信号。译码器的输出信号经定时电路定时产生完成该指令操作所需要的各种控制信号。

数据指针 DPTR (Data Pointer) 是一个 16 位的专用地址指针寄存器, 主要用来存放 16 位地址, 作为间址寄存器访问 64KB 的数据存储器和 I/O 接口及程序存储器, 由 DPH (高 8