



普通高等教育电气信息类规划教材

STC公司姚永平先生亲自作序

STC公司大学计划推荐教材, STC杯单片机系统设计大赛参考教材

STC公司推荐的全国大学生电子设计竞赛STC单片机参考教材

山东大学首批精品教材建设资助教材

单片机应用技术基础



免费电子教案下载

www.cmpedu.com

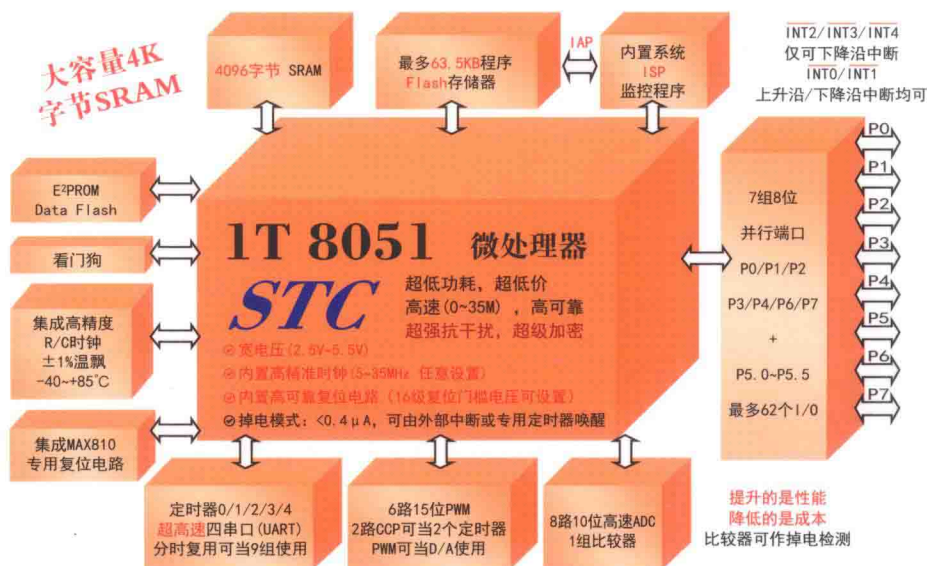
主 编 陈桂友

副主编 祝再兴 渠秋会 张伟斌

参 编 纪春明 李 芳

送仿真器

一个芯片就是一个仿真器



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育电气信息类规划教材

单片机应用技术基础

主 编 陈桂友
副主编 祝再兴 渠秋会 张伟斌
参 编 纪春明 李 芳
主 审 姚永平



机械工业出版社

本书以增强型 8051 内核单片机 IAP15W4K58S4 为背景,介绍了单片机的基本概念、单片机应用系统常用的元器件、学习单片机技术所需的条件、单片机各部分的硬件结构及功能;以功能强大的 Keil μ Vision 集成开发环境作为程序设计和调试环境介绍了程序的调试方法;介绍了单片机应用系统中常见的人机交互模块;最后以温度测控系统为典型案例,介绍了单片机应用系统的设计方法和步骤。

为了便于读者入门,本书不再讲授晦涩难懂的汇编语言及汇编语言程序设计,完全按照使用 C 语言编程的思路进行介绍。这样,只要学过了 C 语言,就可以学习单片机,以达到快速入门的目的。

本书深入浅出、层次分明、实例丰富、通俗易懂、突出实用、可操作性强,特别适合作为普通高校计算机专业、电子专业、电气自动化及机械专业的教学用书,还可作为高职高专以及培训班的教材使用。同时,也可作为单片机应用领域的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机应用技术基础 / 陈桂友主编. —北京:机械工业出版社, 2015.7

普通高等教育电气信息类规划教材

ISBN 978-7-111-50738-3

I. ①单… III. ①陈… III. ①单片机—高等学校—教材

IV. ①TP368

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 149318 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: 时 静 责任编辑: 刘 悦

责任校对: 张艳霞 责任印制: 李 洋

涿州市京南印刷厂印刷

2015 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm $\times$ 260mm $\cdot$ 11.75 印张 $\cdot$ 270 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-50738-3

定价: 29.00 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

服务咨询热线: (010) 88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: (010) 88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金 书 网: www.golden-book.com

序

21 世纪全球全面进入了计算机智能控制/计算时代,而其中的一个重要方向就是以单片机为代表的嵌入式计算机控制/计算。由于最适合中国工程师/学生入门的 8051 单片机有 30 多年的应用历史,绝大部分工科院校均有此必修课,有几十万名对该单片机十分熟悉的工程师可以相互交流开发/学习心得,有大量的经典程序和电路可以直接套用,从而大幅降低了开发风险,极大地提高了开发效率,这也是 STC 宏晶科技/南通国芯微电子有限公司基于 8051 系列单片机产品的巨大优势。

Intel 8051 技术诞生于上世纪 70 年代,不可避免地面临着落伍的危险,如果不对其进行大规模创新,我国的单片机教学与应用就会陷入被动局面。为此,STC 宏晶科技对 8051 单片机进行了全面的技术升级与创新,经历了 STC89/90、STC10/11、STC12、STC15 系列,累计上百种产品:全部采用 Flash 技术(可反复编程 10 万次以上)和 ISP/IAP(在系统可编程/在应用可编程)技术;针对抗干扰进行了专门设计,超强抗干扰;进行了特别加密设计,如 STC15 系列现无法解密;对传统 8051 进行了全面提速,指令速度最快提高了 24 倍;大幅提高了集成度,如集成了 A-D、CCP/PCA/PWM(PWM 还可当 D-A 使用)、高速同步串行通信端口 SPI、高速异步串行通信端口 UART、定时器、看门狗、内部高精度时钟($\pm 1\%$ 温飘, $-40^{\circ}\text{C}\sim +85^{\circ}\text{C}$ 之间,可彻底省掉外部晶振)、内部高可靠复位电路(可彻底省掉外部复位电路)、大容量 SRAM、大容量 EEPROM、大容量 Flash 程序存储器等。针对大学教学和科研工作, IAP15 系列单片机一个单芯片就是一个仿真器,定时器改造为支持 16 位自动重载(学生只需学一种模式),串行口通信波特率计算改造为[系统时钟/4/(65536-重装数)],极大的简化了教学,方便了产品开发,针对实时操作系统 RTOS 推出了不可屏蔽的 16 位自动重载定时器,并且在最新的 STC-ISP 烧录软件中提供了大量的贴心工具,如范例程序/定时器计算器/软件延时计算器/波特率计算器/头文件/指令表/Keil 仿真设置等。封装也从传统的 PDIP40 发展到 DIP8/DIP16/DIP20/SKDIP28、SOP8/SOP16/SOP20/SOP28、TSSOP20/TSSOP28、DFN8/QFN28/QFN32/QFN48/QFN64 及 LQFP32/LQFP48/LQFP64S/LQFP64L,每个芯片的 I/O 口从 6 个到 62 个不等,价格从 0.89 元到 5.9 元不等,极大地方便了客户选型和设计。

2014 年 4 月,STC 宏晶科技重磅推出了 STC15W4K32S4 系列单片机,宽电压工作范围,可直接通过电脑 USB 接口进行 ISP 下载编程,集成了 4K 字节的 SRAM、定时器 7 个(5 个普通定时器+2 个 CCP 定时器)、4 个串口,集成了更多的高性能部件(如比较器、带死区控制的 6 路 15 位专用 PWM 等);开发了功能强大的 STC-ISP 在线编程软件,包含了项目发布、脱机下载、RS-485 下载、程序加密后传输下载、下载需口令等功能,并已申请专利。IAP15W4K58S4 一个芯片就是一个仿真器,价格为人民币 5.6 元,是全球第一个实现一个芯片就可以仿真的单片机,再也不需要 J-Link/D-Link 等仿真器了。

中国民企掌握了 Intel8051 单片机技术,以“初生牛犊不怕虎”的精神,击溃了欧美竞争对手之后,站在 8051 单片机发展的前沿,正处在向 32 位前进的途中,STC 感恩社会,回馈社会,全力支持我国的单片机/嵌入式系统教育事业,STC 大学推广计划正如火如荼地进行中,

第九届“STC 杯单片机系统设计大赛”成功落幕，全国数百所高校，1100 支队伍参赛；在国内多所大学建立了 STC 高性能单片机联合实验室，已建和在建的如山东大学、上海交通大学、复旦大学、同济大学、浙江大学、南京大学、东南大学、吉林大学、哈尔滨工业大学、东北大学、西安交通大学、西北工业大学、南开大学、天津大学、中山大学、厦门大学、四川大学、电子科技大学、中南大学、湖南大学、中国海洋大学、北京航空航天大学、北京理工大学、大连理工大学、华南理工大学、西安电子科技大学、杭州电子科技大学、中国石油大学等著名高校以及广东轻工职业技术学院、深圳职业技术学院等著名职业高校。

山东大学、上海交通大学、西安交通大学、浙江大学、电子科技大学等著名高校的多位知名教授使用 STC 1T 8051 创作的全新教材也在陆续推出中。多所高校每年都用 STC 单片机进行创新竞赛，如山东大学、杭州电子科技大学、南通大学、湖南大学、哈尔滨工业大学（威海）等。

现在学生单片机入门到底应该先学 32 位好还是先学 8 位的 8051 好？我觉得还是 8 位的 8051 单片机好。因为现在大学嵌入式课程只有 64 个学时，甚至 48 个学时，学生能把 8 位的 8051 单片机学懂做出产品，今后只要给他时间，就能触类旁通。但如果只给 48 个学时去学 ARM，学生没有学懂，最多只能搞些函数调用，培养不出真正的人才。所以还应先以 8 位单片机入门。C 语言要与 8051 单片机融合教学，大一第一学期就要开始学，现在有些中学的课外兴趣小组多在学 STC 的 8051 + C 语言。大三学有余力的再选修 32 位嵌入式单片机课程。

再讲讲 C 语言，现在工科非计算机专业讲 C 语言的书多是空中飘着，落不着地，学完之后不知道干什么。以前我们学 BASIC/C，学完用 DOS 系统，也在 DOS 下开发软件。现在学生学完 C，要从 Windows 去返回 DOS 运行，学的 C 也不能在 8051 上运行。嵌入式 C 语言有多个版本，国内 Keil C 流行，现我们也在开发自己的 C 编译器。现在学标准 C 语言，没办法落地了，学完了，PC 上干不了事，单片机上也动不了。我们现在推教学改革将单片机和 C 语言（嵌入式 C，面向控制的 C）放在一门课中讲，在大一的第一学期就讲，学生学完后就知道他将来能做什么，第二学期再开一门 Windows 下的 C++ 开发，正好我们的单片机 C 语言给它打基础。学生学完模电/数电(FPGA)/数据结构/RTOS(实时操作系统)/自动控制原理/数字信号处理等后，在大三再开一门综合电子系统设计，这样人才就诞生了。我们现在主要的工作是在推进中国的工科非计算机专业高校教学改革，研究成果的具体化，就是大量高校教学改革教材的推出，山东大学控制科学与工程学院陈桂友教授的这本书，就是我们研究成果的杰出代表。希望能在我们这一代人的努力下，让中国的嵌入式单片机系统设计全球领先。

感谢 Intel 公司发明了经久不衰的 8051 体系结构，感谢陈桂友教授的新书，保证了中国 30 年来的单片机教学与世界同步，本书是 STC 大学计划推荐教材，STC 高性能单片机联合实验室上机实践指导教材，STC 杯单片机系统设计大赛参考教材，是 STC 推荐的全国大学生电子设计竞赛 STC 单片机参考教材，采用本书作为教材的院校将优先免费获得我们可仿真的 STC15 系列实验箱的支持（主控芯片为 STC 可仿真的 IAP15W4K58S4）。

这个明知山有虎，偏向虎山行！

STC MCU Limited: Andy.姚

www.STCMCU.com www.GXWMCU.com

2015/6/5

前 言

前言

第一章

随着技术的不断发展,作为自动检测和控制系统核心的单片机技术也取得了突飞猛进的发展,从最初的4位发展到8位、16位、32位等诸多系列。其中8051内核的单片机由于具有使用方便、价格便宜等优点,获得了众多制造厂商的支持,已经发展成为具有上百个品种的大家族。目前,8051内核的单片机仍然是应用最广泛的单片机。而在众多的8051内核单片机中,宏晶科技有限公司的STC系列单片机由于具有集成度高、抗干扰能力强的优点,越来越受到广大工程师的青睐。本书以宏晶科技有限公司的IAP15W4K58S4单片机为背景,来进行单片机的原理介绍和应用设计讲解。

IAP15W4K58S4单片机采用增强型8051内核,速度比传统8051内核单片机快8~12倍,片内集成:58KB Flash程序存储器(没有被程序占用的Flash存储器都可以作为数据Flash存储器使用)、4096B的SRAM、5个16位可自动重载的定时/计数器(T0~T4)、最多62根I/O口线、4个全双工异步串行口(UART1~UART4)、1个高速同步通信端口(SPI)、8通道10位高速ADC模块、8路10位PWM、内置比较器、3通道PWM/可编程计数器阵列/捕获/比较单元(Capture/Compare/PWM, CCP)、内部高可靠上电复位电路和硬件看门狗、内部集成高精度R/C时钟,常温工作时,可以省去外部晶振电路。

IAP15W4K58S4完全兼容STC15W4K系列单片机,并且具有在系统可编程(ISP)功能和仿真调试功能,可以省去价格较高的专用编程器,开发环境的搭建非常容易。

为了便于读者入门,本书按照使用C语言编程的思路进行介绍。只要学过了C语言,就可以学习单片机。本书的每一章都给出了相应的习题,便于教学。与本书配套的电子教案和书中的所有实例以及最后一章应用系统设计的相关内容可以从<http://course.sdu.edu.cn/mcu.html>网站下载。有兴趣的读者,也可以发送电子邮件到chenguiyou@sdu.edu.cn与作者进一步交流。

本书由山东大学陈桂友教授任主编,对全书进行规划统稿,并编写了第8章;山东特殊教育职业技术学院祝再兴编写了第3章;山东力明科技职业学院渠秋会编写了第4章,咸阳职业技术学院张伟斌编写了第1章和第5章;河北建材职业技术学院纪春明编写了第2章;辽宁石油化工大学矿业工程学院李芳编写了第6章和第7章。华北科技大学杜启军编写了第9章。山东大学董廷志同学对本书中所有的例题进行了测试。宏晶公司姚永平总经理对本书进行了认真审阅。在此对所有提供帮助的人深表感谢!

由于编者水平所限,书中不妥或错误之处敬请读者批评指正,以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议,恳请向编者提出宝贵意见。

编者

2015年8月

目 录

前言	
第1章 概述	1
1.1 单片机简介	1
1.1.1 什么是单片机及单片机应用系统	1
1.1.2 MCS-51 系列单片机	4
1.1.3 单片机的应用	5
1.2 单片机系统常用的元器件简介	6
1.3 单片机应用系统开发和学习环境的搭建	10
1.3.1 硬件环境	10
1.3.2 软件环境	11
1.4 习题	12
第2章 单片机基础知识	13
2.1 实例导入——信号灯的控制	13
2.1.1 硬件环境	13
2.1.2 准备程序	13
2.2 计算机的结构及工作过程	22
2.2.1 计算机模型的结构	23
2.2.2 模型机的工作过程	24
2.3 单片机的基本机构	27
2.3.1 IAP15W4K58S4 的内部组成	27
2.3.2 IAP15W4K58S4 的引脚	28
2.3.3 存储空间	30
2.4 并行输入/输出口	39
2.4.1 IAP15W4K58S4 单片机的 I/O 口	39
2.4.2 IAP15W4K58S4 单片机 I/O 口的工作模式	43
2.4.3 IAP15W4K58S4 单片机 I/O 口的结构	44
2.5 时钟电路与复位电路	46
2.5.1 时钟电路与时序	46
2.5.2 单片机的复位	48
2.6 习题	49
第3章 单片机的 C 语言程序设计及调试	50
3.1 单片机 C 语言程序中的常用功能	50
3.1.1 关系运算、逻辑运算和位运算	50
3.1.2 预处理	52
3.2 Keil C 和 ANSI C	54

3.2.1	Keil C51 扩展关键字	54
3.2.2	Keil C51 函数	58
3.2.3	IAP15W4K58S4 单片机 C51 程序框架	59
3.3	IAP15W4K58S4 单片机 C 语言程序调试	62
3.3.1	利用软件模拟仿真器调试 C 语言程序	62
3.3.2	利用仿真器调试 C 语言程序	64
3.4	习题	67
第 4 章	中断系统	69
4.1	中断概述	69
4.1.1	相关概念	69
4.1.2	中断的特点	70
4.1.3	中断系统的功能	70
4.2	IAP15W4K58S4 单片机的中断系统	71
4.2.1	中断源及中断系统构成	71
4.2.2	中断寄存器	74
4.2.3	单片机中断处理过程	82
4.3	中断系统的应用	82
4.4	习题	85
第 5 章	定时/计数器	86
5.1	定时/计数器结构与功能	86
5.2	定时/计数器的功能寄存器	88
5.3	定时/计数器的工作方式	91
5.4	时间常数的计算	92
5.5	定时/计数器应用举例	93
5.6	习题	95
第 6 章	串行通信	96
6.1	串行通信的基础知识	96
6.2	IAP15W4K58S4 单片机的串行接口	99
6.2.1	串行接口寄存器	99
6.2.2	串行接口的工作方式	103
6.2.3	波特率的设定	106
6.3	单片机串行通信接口的应用	108
6.3.1	标准串行通信接口	109
6.3.2	双机串行通信应用举例	111
6.3.3	多机串行通信应用举例	116
6.4	IAP15W4K58S4 的串行外设接口	120
6.4.1	SPI 简介	120
6.4.2	IAP15W4K58S4 单片机的 SPI 结构	120
6.4.3	SPI 的数据通信	121

6.4.4	SPI 的数据通信方式	122
6.4.5	与 SPI 相关的特殊功能寄存器	125
6.4.6	SPI 的应用	127
6.5	习题	128
第 7 章	模-数转换器	129
7.1	ADC 模块的结构及相关寄存器	129
7.1.1	ADC 模块的结构	129
7.1.2	参考电压源	130
7.2	与 ADC 模块相关的特殊功能寄存器	130
7.3	ADC 模块的应用	132
7.4	习题	134
第 8 章	人机交互模块	135
8.1	显示器及其接口电路	135
8.1.1	LED 数码管显示器	135
8.1.2	LCD 液晶屏显示器	141
8.2	键盘及其接口电路	146
8.2.1	拨码开关键盘	147
8.2.2	独立式键盘	147
8.2.3	矩阵式键盘	150
8.3	习题	154
第 9 章	基于单片机的温度测控系统设计	155
9.1	温度测控系统的要求	155
9.2	温度测控系统的总体设计分析	155
9.3	温度测控系统的硬件设计	156
9.4	温度测控系统的软件设计	159
9.5	习题	168
附录	IAP15W4K58S4 单片机寄存器头文件 stc15.h 内容	169
参考文献		176

第1章 概述

本章主要介绍单片机的概念、单片机应用系统中常用的元器件、单片机的应用范围和开发学习环境。这些内容对于单片机初学者很重要。

1.1 单片机简介

1.1.1 什么是单片机及单片机应用系统

1. 微型计算机及微型计算机系统

微型计算机 (Microcomputer) 简称微机, 是计算机的一个重要分支。通常按照计算机的体积、性能和应用范围等条件, 将计算机分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机等。微型计算机不但具有其他计算机快速、精确、程序控制等特点, 而且具有体积小、重量轻、功耗低、价格便宜等优点。个人计算机简称 PC (Personal Computer), 是微型计算机中应用最为广泛的一种, 也是近年来计算机领域中发展最快的一个分支, 由于 PC 在性能和价格方面适合个人用户购买和使用, 目前, 它已经像普通家电一样深入到了家庭和社会生活中的各个方面。

微型计算机系统由硬件系统和软件系统两大部分组成。

(1) 微型计算机的硬件系统

所谓硬件, 就是用手能摸得到的实物, 一台微型计算机典型的硬件组成如图 1-1 所示。

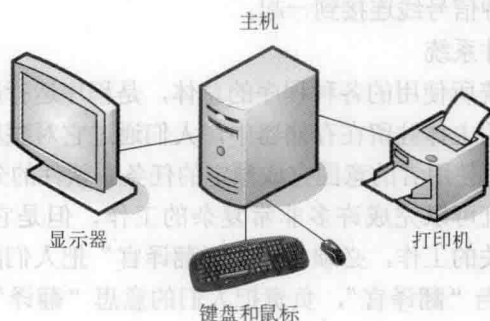


图 1-1 微型计算机典型的硬件组成

下面分别介绍各部件:

1) 主机。主机从外观看是一个整体, 但打开机箱后, 会发现其内部由多种独立的部件组成, 具体如下:

① 电源。电源是计算机中不可缺少的供电设备, 它的作用是将 220V 交流电转换为计算机中使用的 5V、12V、3.3V 直流电, 其性能直接影响其他设备工作的稳定性, 进而会影响整机的稳定性。

② 主板。主板是计算机中各个部件工作的一个支撑平台，它把计算机的各个部件紧密连接在一起，各个部件通过主板进行数据传输。也就是说，计算机中重要的“交通枢纽”都在主板上，它工作的稳定性影响着整机工作的稳定性。

③ CPU。CPU (Central Precessing Unit) 即中央处理器，其功能是执行算数逻辑运算、数据处理及输入/输出，从而控制计算机自动、协调地完成各种操作。

④ 内存。内存又叫内部存储器 (RAM)，由电路板和芯片组成，其特点是体积小、速度快、有电即存、无电清空，即计算机在开机状态时内存中可存储数据，关机后将自动清空其中的所有数据。

⑤ 硬盘。硬盘属于外部存储器，由金属磁片制成，而磁片有记忆功能，所以存储到磁片上的数据，不论开机还是并机，都不会丢失。

⑥ 声卡。声卡是组成多媒体电脑必不可少的一个硬件设备，其作用是当发出播放命令后，声卡将计算机中的声音数字信号转换成模拟信号传送到音箱上进而发出声音。

⑦ 显卡。显卡在工作时与显示器配合输出图形、文字，其作用是负责将 CPU 送来的数字信号转换成显示器识别的模拟信号，传送到显示器上显示出来。

⑧ 网卡。网卡是计算机通过网线连接网络的桥梁，是用来建立局域网的重要设备之一。

⑨ 光驱。光驱是用来读取光盘的设备。

2) 显示器。显示器的作用是把计算机处理完的结果显示出来。它是一个输出设备，是计算机必不可缺少的部件之一。

3) 键盘。键盘是主要的输入设备，用于把文字、数字等输入到计算机中。

4) 鼠标。当移动鼠标时，计算机屏幕上就会有一个箭头指针跟着移动，并可以很准确地指到想指的位置，快速在屏幕上定位，它是计算机不可缺少的部件之一。

5) 打印机。通过它可以把电脑中的文件打印到纸上，它是重要的输出设备之一。

此外，一套较为完整的计算机硬件系统还包括音箱、摄像头、扫描仪、数码相机等设备。

上述硬件设备通过各种信号线连接到一起。

(2) 微型计算机的软件系统

软件系统是指微机系统所使用的各种程序的总体，是程序运行所需的数据以及与程序相关文档资料的集合。软件的主体驻留在存储器中，人们通过它对整机进行控制并与微机系统进行信息交换，使微机按照使用者的意图完成预定的任务。软件的分类如下：

1) 操作系统。计算机可以完成许多非常复杂的工作，但是它却“听不懂”人们的语言，要想让计算机完成相关的工作，必须由一个“翻译官”把人们的语言“翻译”给电脑。此时，操作系统软件就充当“翻译官”，负责把人们的意思“翻译”给计算机，由计算机完成人们想做的工作。

2) 应用软件。应用软件是用于解决各种实际问题以及实现特定功能的程序。

此外还有程序设计软件，是用来进行编程的计算机语言工具。程序设计语言主要包括汇编语言和高级语言。这些软件工具一般由专业开发人员使用。

从微观上看，硬件系统是指构成微机系统的实体和装置，通常由运算器、控制器、存储器、输入接口电路和输入设备、输出接口电路和输出设备等组成。其中，运算器和控制器一般集成在一个集成芯片上，统称中央处理单元 (Central Processing Unit, CPU)，是微机的核心部件，配上存放程序和数据的存储器、输入/输出 (Input/Output, I/O) 接口电路及外部设

备即构成微机的硬件系统。软件系统与硬件系统共同构成实用的微机系统，两者相辅相成、缺一不可。微型计算机系统组成示意图如图 1-2 所示。

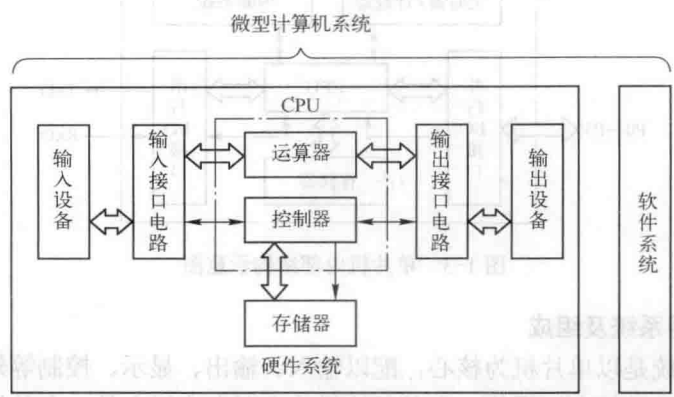


图 1-2 微型计算机系统组成示意图

组成微型计算机的五个基本部件如下：

- 1) 运算器。运算器是微型计算机的运算部件，用于实现算术和逻辑运算。微型计算机的数据运算和处理都在这里进行。
 - 2) 控制器。控制器是微型计算机的指挥控制部件，使微型计算机各部分能自动协调地工作。
- 运算器和控制器是微型计算机的核心部分，常把它们合在一起称之为中央处理器，简称 CPU。
- 3) 存储器。存储器是微型计算机的记忆部件，用于存放程序和数据。存储器分为程序存储器和数据存储器。
 - 4) 输入设备。输入设备用于将程序和数据输入到微型计算机中，如键盘。
 - 5) 输出设备。输出设备用于把微型计算机数据计算或加工的结果，以用户需要的形式显示或保存，如显示器、打印机。

通常把外部存储器、输入设备和输出设备合在一起称之为微型计算机的外部设备，简称外设。

请读者思考，在构成微型计算机硬件系统的设备中，哪些是输入设备？哪些是输出设备？

2. 单片微型计算机

单片微型计算机是指集成在一个芯片上的微型计算机，又称为微控制器（Micro Control Unit, MCU），简称单片机，就是把组成微型计算机的各种功能部件，包括中央处理单元（Central Processing Unit, CPU）、随机存取存储器（Random Access Memory, RAM）、只读存储器（Read-only Memory, ROM）、基本输入/输出（Input/Output, I/O）接口电路、定时器/计数器、中断系统等部件集成在一块芯片上，构成一个完整的微型计算机，从而实现微型计算机的基本功能。单片机内部结构示意图如图 1-3 所示。

单片机实质上是一个硬件芯片，在实际应用中，通常很难直接和被控对象进行电气连接，必须外加各种扩展接口电路、外部设备、被控对象等硬件和软件，才能构成一个单片机应用系统。

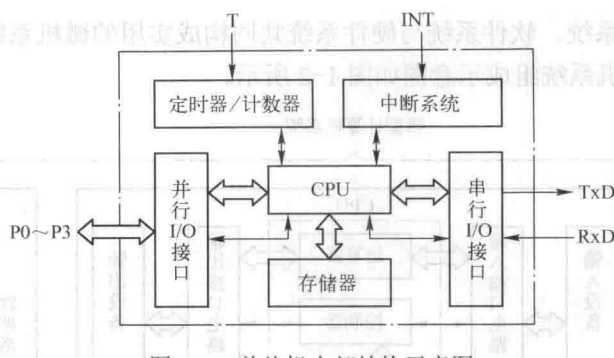


图 1-3 单片机内部结构示意图

3. 单片机应用系统及组成

单片机应用系统是以单片机为核心，配以输入、输出、显示、控制等外部电路和软件，能实现一种或多种功能的实用系统。本书所使用的实训电路板也是一个单片机的应用系统，它除了具备单片机芯片以外，还有许多外部电路，再配以后续章节中一系列的实训程序，就可以实现很多功能。所以说，单片机应用系统是由硬件和软件组成的，硬件是应用系统的基础，软件是在硬件的基础上对其资源进行合理调配和使用，从而完成应用系统所要求的任务，二者相互依赖，缺一不可，单片机应用系统的组成如图 1-4 所示。

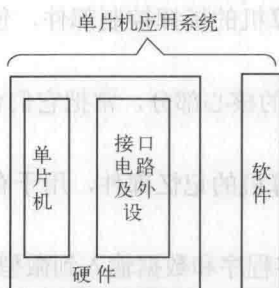


图 1-4 单片机应用系统的组成

由此可见，单片机应用系统的设计人员必须从硬件和软件两个角度来深入了解单片机，并能够能够将二者有机结合起来，才能设计出具有特定功能的应用系统或整机产品。

自从 1974 年美国 Fairchild 公司研制出第一台单片机 F8 之后，单片机经历了由 4 位机到 8 位机再到 16 位和 32 位机的发展过程。单片机制造商很多，主要有德州仪器（TI）、飞思卡尔（Freescale）、微芯科技（Microchip）、宏晶科技等公司。目前，单片机正朝着高性能、多品种方向发展，近年来 32 位单片机已进入了实用阶段。但是由于 8 位单片机在性价比上占有优势，且 8 位增强型单片机在速度和功能上已经可以和现在的 16 位单片机相媲美，因此，在未来相当长的时期内 8 位单片机仍是单片机市场的主流机型。

1.1.2 MCS-51 系列单片机

单片机种类繁多，生产厂商都各自有相应的系列产品，其中影响较大的几个公司及其部分典型产品见表 1-1。

表 1-1 影响较大的几个单片机生产厂商及其部分典型产品

公 司 名 称	典 型 产 品
宏晶科技有限公司	STC12 系列、STC15 系列
微芯科技 (Microchip)	PIC 系列
德州仪器 (TI)	MSP430 系列
飞思卡尔 (Freescale)	9S12 系列
爱特美尔 (Atmel)	AT89C51、AT89C2051
恩智浦 (NXP)	P80XX、P89 系列

无论从世界范围或从国内范围来看,使用最为广泛的应属 8051 内核的单片机 (MCS-51 单片机)。常见的 MCS-51 单片机及其内部资源见表 1-2。

表 1-2 常见 MCS-51 单片机及其内部资源

型号	程序存储器	SRAM	定时器	EEPROM	UART	PWM	A-D	I/O 口
Intel 8051	4KB	无	2 个	无	1	无	无	32
AT89S52	8KB Flash	无	3 个	无	1	无	无	32
IAP15W4K58S4	58KB Flash	4096B	5 个	最多 58KB	4	8 路	8 路 10 位	最多 62

其中宏晶科技公司的 8051 内核单片机应用最为广泛,基于这一事实,本书以宏晶科技公司最新推出的增强型 8051 内核单片机 IAP15W4K58S4 为背景,来介绍单片机的硬件结构、工作原理及应用系统的设计。

1.1.3 单片机的应用

单片机具有结构简单、控制功能强、可靠性高、体积小、价格低等优点,在许多行业都得到了广泛的应用。单片机的应用已经渗透到各个领域,例如航天航空、导弹的导航装置、地质石油、冶金采矿、各种仪表的控制、计算机的网络通信与数据传输、工业自动化过程的实时控制和数据处理、各种智能 IC 卡、民用豪华轿车的安全保障系统、录像机、摄像机、全自动洗衣机的控制以及程控玩具、电子宠物等,这些设备的功能控制都离不开单片机。单片机应用大致可分如下几个范畴:

1. 智能仪器仪表

结合不同类型的传感器,智能仪器仪表可实现诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、元素、压力等物理量的测量,促使仪器仪表实现数字化、智能化、多功能化、微型化。仪器仪表的硬件结构更为简单,易于仪器仪表产品的更新换代。例如,精密数字温度计、智能电表等。

2. 工业实时监控

单片机可以构成形式多样的控制系统、数据采集系统。例如,工厂流水线的智能化管理、电梯智能化控制、各种报警系统以及与计算机连网构成二级控制系统等。

3. 计算机网络和通信领域

单片机具备良好的通信接口,可以很方便地与计算机进行数据通信,为计算机网络和通信设备间的应用提供了良好的条件,现在的通信设备基本实现了单片机智能控制,从电话

机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信到日常工作中随处可见的移动电话、集群移动通信、无线电对讲机等。

4. 家用电器

单片机越来越多地应用于家用电器中，例如电饭煲、洗衣机、电冰箱、空调、彩电、音响器材等。

5. 医用设备领域

单片机在医用设备中的用途也相当广泛，例如医用呼吸机、各种分析仪、监护仪、超声诊断设备及病床呼叫系统等。

6. 汽车设备领域

单片机在汽车领域中的应用非常广泛，例如汽车中的发动机控制器、基于控制器局域网（Contrdler Area Network, CAN）总线的汽车发动机智能电子控制器、全球导航定位系统（Global Positioning System, GPS）、防抱死系统（Anti-locked Braking System, ABS）、制动系统等。

除此之外，单片机在办公设备、商业活动、机械制造、国防航空航天等领域也有着十分广泛的用途。

1.2 单片机系统常用的元器件简介

1. 电阻和排阻

电阻是构成电路的基本元器件之一，记为 R ，在电路中通常起分压分流的作用，对信号来说，交流与直流信号都可以通过电阻。常用的电阻的单位有：欧姆（ Ω ）、千欧（ $k\Omega$ ）、兆欧（ $M\Omega$ ）。电阻的外观如图 1-5 所示。

电阻的阻值标法通常有色标法和数字法。色标法较为常见的是色环法。色环法就是用不同颜色的色环来表示电阻参数。常见的色环电阻有 4 色环和 5 色环电阻，其中 5 色环电阻精度较高。

排电阻（简称排阻）就是若干个参数完全相同的电阻，它们的一个引脚都连到一起，作为公共引脚，其余引脚正常引出。如果一个排阻是由 n 个电阻构成的，那么它就有 $n+1$ 只引脚，一般来说，最左边的那个是公共引脚，通常用一个白色的点标出来。排阻如图 1-6 所示。

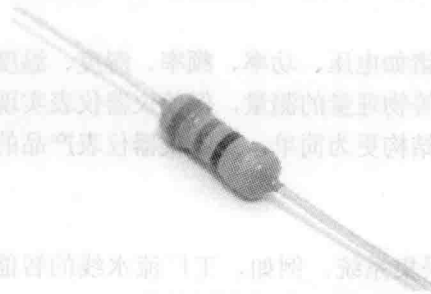


图 1-5 电阻器外观图



图 1-6 排阻的外观

使用排阻比用若干个固定电阻更方便。排阻阻值的数码表示方法为，第一和第二位直读，第三位是零的个数。例如：A 102J 为 $1k\Omega$ 的排阻。

2. 电容

电容是一种储存电能的元件，记为 C 。在国际单位制里，电容的单位是法拉，简称法，符号是 F 。常用的电容单位还有毫法 (mF)、微法 (μF)、纳法 (nF) 和皮法 (pF) 等，它们的换算关系是：

1 法拉 (F) = 1000 毫法 (mF) = 1000 000 微法 (μF)

1 微法 (μF) = 1000 纳法 (nF) = 1000 000 皮法 (pF)

电解电容是电容的一种，有极性之分，较长的引脚为正极，较短的引脚为负极，如果引脚无法区分，可以通过外壳上的一条白色标记分辨，有标记一端为负极。在电解电容的外壳上印有电容容量和额定工作电压。常见的额定工作电压有 6.3V、10V、16V、25V、50V 等。为保证工作正常，选择器件的额定工作电压应至少比电路的最大电压大一级。

独石电容是多层陶瓷电容的别称。独石电容具有电容量大、体积小、可靠性高、电容量稳定、耐高温、绝缘性好、成本低等优点，因而得到广泛应用。可替代云母电容和纸介电容，广泛应用在小型和超小型电子设备中。一般电容的电容量随着频率的上升，呈现下降的规律，而独石电容下降比较少，容量比较稳定。在其外壳上标有容量，通常使用数码法，前两位表示有效数字，后一位为倍率，单位为 pF 。例如“104”为 $10 \times 10^4 pF = 100000 pF = 0.1 \mu F$ 。

3. 晶体振荡器

石英晶体振荡器简称晶振，是利用石英晶体的压电效应制成的一种谐振器件，其作用在于产生原始的时钟频率。

晶体振荡器分为无源晶振和有源晶振两种类型。无源晶振需要借助于时钟电路才能产生振荡信号，自身无法振荡起来；有源晶振是一个完整的谐振振荡器。

无源晶振和有源晶振的外观分别如图 1-7a 和图 1-7b 所示。

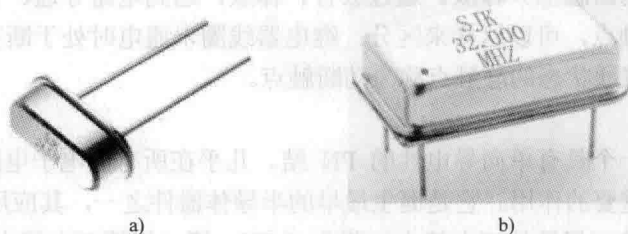


图 1-7 晶振的外观

a) 无源晶振的外观 b) 有源晶振的外观

石英晶体振荡器利用石英晶体的压电效应来起振。若在石英晶体的两个电极上加一电场，晶片就会产生机械变形。反之，若在晶片的两侧施加机械压力，则在晶片相应的方向上将产生电场，这种物理现象称为压电效应。这种效应是可逆的。如果在晶片的两极上加交变电压，晶片就会产生机械振动，同时晶片的机械振动又会产生交变电场。在一般情况下，晶片机械振动的振幅和交变电场的振幅非常微小，但当外加交变电压的频率为某一特定值时，振幅明显加大，比其他频率下的振幅大得多，这种现象称为压电谐振，它与 LC 回路的谐振现象十分相似。它的谐振频率与晶片的切割方式、几何形状、尺寸等有关。

4. 继电器

继电器是一种电子控制器件，通常应用于自动控制电路中，实现用较小的电流去控制较大电流。不同种类继电器外形如图 1-8 所示。当输入量（电、磁、声、光、热，又称激励量）达到一定值时，继电器的输出量将发生跳跃式变化，在电路中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用。

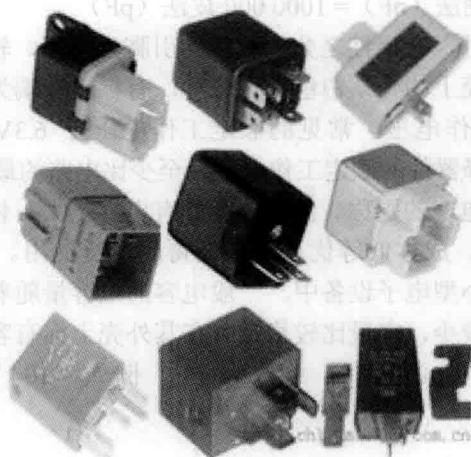


图 1-8 不同种类继电器外形

电磁式继电器一般由铁心、线圈、衔铁、触点簧片等组成的。只要在线圈两端加上一定的电压，线圈中就会流过一定的电流，从而产生电磁效应，衔铁就会在电磁力吸引的作用下克服返回弹簧的拉力吸向铁心，从而带动衔铁的动触点与静触点（常开触点）吸合。当线圈断电后，电磁的吸力也随之消失，衔铁就会在弹簧的反作用力下返回原来的位置，使动触点与原来的静触点（动断触点）释放。通过吸合、释放，达到电路导通、切断的目的。对于继电器的动合、动断触点，可以这样来区分：继电器线圈未通电时处于断开状态的静触点，称为动合触点；处于接通状态的静触点称为动断触点。

5. 二极管

二极管内部有一个具有单向导电性的 PN 结。几乎在所有的电子电路中，都要用到二极管，在电路中起着重要的作用。它是诞生最早的半导体器件之一，其应用也非常广泛。

不发光类型的硅二极管的正向管电压降为 0.7V，锗二极管正向管电压降为 0.3V；发光二极管正向管电压降随不同发光颜色而不同，主要有三种颜色，具体电压降参考值为红色发光二极管的电压降为 2.0~2.2V，黄色发光二极管的电压降为 1.8~2.0V，绿色发光二极管的电压降为 3.0~3.2V。普通的发光二极管当电流在 5~10mA 就可以发光。

发光二极管的正负极可从引脚长短来识别，长脚为正，短脚为负。用数字式万用表去测二极管时，红表笔接二极管的正极，黑表笔接二极管的负极，此时测得二极管的正向导通阻值，这与指针式万用表的表笔接法刚好相反。

6. 数码管

数码管是一种半导体发光器件，其基本单元是发光二极管。分为 7 段数码管和 8 段数码管，8 段数码管比 7 段数码管多一个发光二极管单元，即多一个小数点显示，如图 1-9 所