

General Education

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI (高职高专教育)



WEIJI YUANLI YU
JIEKOU JISHU

微机原理与 接口技术

赵又新 主 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材 (高职高专教育)
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



WEIJI YUANLI YU
JIEKOU JISHU

微机原理与 接口技术

主 编 赵又新
编 写 刘映杰 朱玉红 刘小斌
主 审 马 平



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）。

本书共分14章，内容包括：微型计算机基础知识，MCS-51单片机的硬件结构，半导体存储器及其扩展，MCS-51的指令系统，MCS-51汇编语言程序设计，MCS-51中断系统，定时器/计数器及其应用，单片机串行通信与接口，微型机的I/O接口技术，MCS-51与显示/键盘、微型打印机接口，MCS-51对A/D和D/A的接口，单片机应用系统的开发，单片机应用系统的开发工具，参考实验。本书注重将理论讲授和实践训练相结合，强调应用性和实践性，并结合大量应用实例对单片机应用系统的设计、开发、调试和故障诊断等进行了讨论。每章配有丰富的例题、思考题与习题。

本书可作为高职高专院校电力技术类、自动化类、计算机类、电子信息类和机电类专业教材，也可以作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

微机原理与接口技术/赵又新主编. —北京：中国电力出版社，2007

普通高等教育“十一五”规划教材. 高职高专教育

ISBN 978 - 7 - 5083 - 5073 - 8

I. 微... II. 赵... III. ①微型计算机—理论—高等学校—教材②微型计算机—接口—高等学校—教材 IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 165317 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>）

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2007年2月第一版 2007年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 20.25印张 494千字

印数 0001—3000册 定价 29.80元

版 权 专 有 翻 印 必 究

（本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换）

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

单片微型计算机简称为单片机,又称为微处理器,是微型计算机的一个重要分支。单片机是 20 世纪 70 年代中期发展起来的一种大规模集成电路芯片,是集 CPU、RAM、ROM、I/O 接口和中断于同一芯片的器件。自 20 世纪 80 年代以来,单片机发展迅速,各类新产品不断涌现,出现了许多高性能新型机种,现已逐渐成为工厂自动化和各控制领域的支柱产业之一,它广泛应用于工业控制系统、数据采集系统、自动测试系统、智能仪表、智能接口、功能模块等方面。

在国内,由于单片机具有功能强、体积小、可靠性好和价格便宜等独特的优点,因而受到人们高度重视,取得了一系列科研成果,成为传统工业技术改造和新产品更新换代的理想机种,具有广阔的发展前景。目前,在各类高职、高专、本科院校开办的二级职业技术学院和民办高校的工科专业中,单片微型计算机成为重要的专业基础课程之一。为适应开设单片微型计算机课程的需要,编者特地结合自身的教学和科研实践编写了本书,奉献给广大读者。

本书以 MCS-51 系列单片机为主线,全面而详实地论述了单片机应用系统的结构、原理和应用。全书结构紧凑、章节编排合理,具有一定的通用性、系统性和实用性,语句力求简炼、深入浅出、通俗易懂。本书共分 14 章,第 1 章是微型计算机基础知识,第 2~3 章为单片机的硬件结构、操作时序及存储器扩展,第 4~5 章为单片机指令系统及汇编语言程序设计,第 6 章为单片机的中断系统,第 7~8 章为单片机的串行通信与接口,第 9~10 章为单片机的 I/O 接口和人机接口,第 11 章为单片机的 A/D、D/A 接口设计,第 12 章为单片机应用系统的开发,第 13 章为单片机应用系统开发工具,第 14 章为单片机参考实验。

参加本书编写工作的有赵又新(前言、第 2 章、第 5 章、第 8 章、第 12 章、第 13 章、附录 A、附录 B)、刘映杰(第 1 章、第 7 章、第 11 章)、朱玉红(第 3 章、第 4 章、第 6 章)、刘小斌(第 9 章、第 10 章、第 14 章)。赵又新负责全书的组织编写、统稿、定稿和审阅,刘映杰、朱玉红、刘小斌负责本书的审阅工作,李立华为本书整理了大量资料和图片。华北电力大学的马平作为本书的主审,提出了许多宝贵的意见。对于上述同志以及本书出版有关人员,在此谨向他们表示诚挚谢意。

限于作者水平,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2006 年 11 月

目 录

前言

第1章 微型计算机基础知识	1
1.1 微型计算机系统组成原理	1
1.2 单片微型计算机概述	5
1.3 微型计算机数制及其转换	10
1.4 微型计算机中数的表示方法	14
思考题与习题	21
第2章 MCS-51 单片机的硬件结构	23
2.1 MCS-51 单片机内部结构	23
2.2 MCS-51 单片机引脚功能	34
2.3 MCS-51 单片机复位及复位电路	36
2.4 MCS-51 单片机工作方式	37
2.5 MCS-51 单片机时序	38
思考题与习题	42
第3章 半导体存储器及其扩展	44
3.1 半导体存储器	44
3.2 单片机外部存储器的扩展	49
3.3 存储器的若干实用技术	56
思考题与习题	57
第4章 MCS-51 的指令系统	58
4.1 概述	58
4.2 MCS-51 指令系统的寻址方式	61
4.3 MCS-51 指令系统	65
思考题与习题	79
第5章 MCS-51 汇编语言程序设计	82
5.1 汇编语言程序设计步骤与技巧	82
5.2 伪指令	83
5.3 结构化程序设计方法	85
5.4 汇编实用子程序设计	94
思考题与习题	121
第6章 MCS-51 中断系统	123
6.1 中断概述	123
6.2 中断处理过程	125

6.3	MCS-51 单片机中断系统	126
6.4	中断程序举例	131
	思考题与习题	133
第 7 章	定时/计数器及其应用	134
7.1	定时/计数器的基本功能	134
7.2	8051 片内定时/计数器概述	134
7.3	定时器的控制	135
7.4	定时/计数器的 4 种工作模式及应用	136
7.5	应用举例	141
	思考题与习题	142
第 8 章	单片机串行通信与接口	143
8.1	串行通信基础	143
8.2	MCS-51 的串行接口	145
8.3	串行通信的接口标准	162
	思考题与习题	167
第 9 章	微型机的 I/O 接口技术	168
9.1	有关接口的基本概念	168
9.2	接口数据的传送方式	171
9.3	单片机 I/O 接口及简单扩展	173
9.4	可编程并行 I/O 接口 8255A	178
9.5	RAM/IO 接口芯片 8155H	190
9.6	MCS-51 单片机与高压大电流负载的接口	196
	思考题与习题	199
第 10 章	MCS-51 与显示/键盘、微型打印机接口	201
10.1	MCS-51 对 LED 的接口	201
10.2	MCS-51 对非编码键盘的接口	205
10.3	键盘/显示程序结构	211
10.4	8279 键盘、显示接口芯片	213
10.5	MCS-51 与微型打印机的接口	220
	思考题与习题	222
第 11 章	MCS-51 对 A/D 和 D/A 的接口	223
11.1	D/A 转换器	223
11.2	MCS-51 和 D/A 的接口	227
11.3	A/D 转换器	235
11.4	MCS-51 和 A/D 的接口	240
	思考题与习题	245
第 12 章	单片机应用系统的开发	248
12.1	单片机应用系统的研制步骤	248

12.2	应用实例——单片机温度控制系统	250
12.3	系统可靠性设计和故障诊断	265
第 13 章	单片机应用系统的开发工具	268
13.1	开发系统简介	268
13.2	用户样机开发调试过程	272
13.3	C51 语言的特点及开发环境简介	275
	思考题与习题	284
第 14 章	参考实验	286
14.1	指令系统实验	286
14.2	汇编语言程序设计实验	290
14.3	接口实验	296
14.4	综合实验	304
附录 A	ASCII 码字符表	308
附录 B	MCS-51 系列单片机指令表	310
参考文献		315

第1章 微型计算机基础知识

1.1 微型计算机系统组成原理

1.1.1 计算机的基本结构

目前,多数计算机的组成结构是冯·诺依曼型的,即它是执行存储器中程序而工作的。计算机执行程序是自动按序进行的,程序和数据由输入设备输入存储器,执行程序所获得的运算结果由输出设备输出。因此,计算机通常由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五部分组成(如图1-1所示),这五部分统称为计算机硬件,各部分相互独立,但又彼此相连,组成一个有机整体。

输入设备是输入程序和原始数据的部件,能自动把编好的程序和原始数据转换成计算机能识别的二进制数码,送到存储器存放起来。常用的输入设备有键盘、纸带输入机和卡片读入机等。

运算器、内存储器和控制器合在一起称为主机,各种输入、输出设备及外存储器统称为计算机的外围设备。运算器和控制器合在一起又称为中央处理部件CPU(Central Processing Unit),CPU是计算机赖以工作的核心部件。运算器主要包括加法器、移位和判断寄存器等,用于进行算术运算和逻辑运算;控制器由指令寄存器、指令译码器和控制电路等组成,是整个计算机的中枢,它根据指令码指挥着运算器、存储器、输入设备和输出设备自动协调地工作,如图1-1中箭头所示。

存储器分为内存储器和外存储器两种。内存储器工作速度快,但存储容量有限,采用半导体存储器。外存储器又称为海量存储器,存储容量大,但存取速度慢,如磁盘、磁带和光盘等。微型计算机中应用最广的是软磁盘、硬磁盘、光盘等外存储器。

输出设备用于输出计算机的中间结果和最终结果,也可以输出原始程序和实时信息。常见的输出设备有显示器、打印机、绘图仪等。当外存储器存储数据时也可以看作输出设备,因此,外存储器是一种既可作输入又可作输出的设备,常称之为输入/输出设备。

1.1.2 微型计算机的基本组成

微型计算机在结构上和通用计算机十分相似,由微处理器、存储器和I/O接口等部分组成。但其独到之处是它采用总线结构,微处理器MPU是通过地址总线AB、数据总线DB和控制总线CB与存储器及I/O接口相连。下面分别介绍微处理器MPU、地址总线AB、数据总线DB、控制总线CB、存储器及I/O接口。

1. 微处理器 MPU

微处理器又称中央处理单元(CPU),一般由运算器和控制器组成,用以完成运算和对

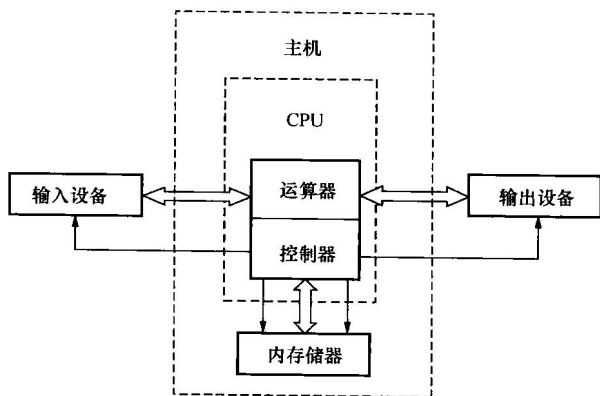


图 1-1 计算机基本结构框图

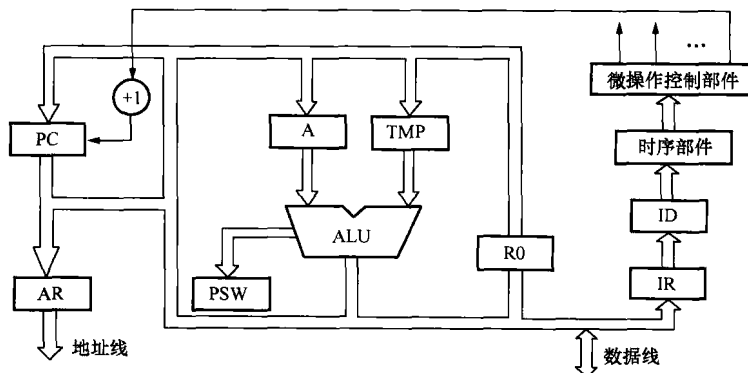


图 1-2 典型微处理器模型的内部结构框图

全机进行控制的功能，集成在一块芯片上，是微型计算机的核心部分。典型微处理器模型的内部结构框图如图 1-2 所示。下面借助此框图讲解其基本工作原理。

运算器由算术/逻辑运算单元 ALU (Arithmetic and Logical Unit)、累加器 A、通用寄存器 R0、暂存器 TMP 和状态寄存器 PSW 等部分组成。

用于进行数据的算术和逻辑运算。累加器 A 是一个具有输入/输出能力的移位寄存器，由 8 个触发器组成。累加器 A 在加法前用于存放一个操作数，加法操作后用于存放两数之和，以便再次累加。暂存器 TMP 是一个 8 位寄存器，用于暂存另一操作数。算术/逻辑运算单元 ALU 主要由加法器、移位电路和判断电路等组成，用于对累加器 A 和暂存器 TMP 中两个操作数进行算术/逻辑运算。状态寄存器 PSW 由 8 位触发器组成，用于存放 ALU 运算过程中形成的状态。通用寄存器 R0 用于存放操作数或运算结果。控制器由指令部件、时序部件和微操作控制部件等部分组成，它可按一定顺序从存储器中取出指令进行解释，并按解释结果发布操作命令，使微型计算机各部分按相应的节拍动作。指令部件包括程序计数器 PC (Program Count)、指令寄存器 IR (Instruction Register) 和指令译码器 ID (Instruction Decoder) 三部分，是一种能对指令进行分析、处理和产生控制信号的逻辑部件，是控制器的核心。程序计数器 PC 是专门用于存放当前要执行指令的内存地址的寄存器，当机器根据 PC 中地址取出要执行指令的一个字节后，PC 就自动加 1，指向指令的下一字节，为机器下次取这个字节作好准备。在 8 位 CPU 中，程序计数器通常为 16 位。指令寄存器 IR 用于存放从存储器中取出当前要执行指令的指令码，有 8 位长。该指令码在 IR 中得到寄存和缓冲后被送到指令译码器 ID 中译码，译码后在时序部件帮助下去推动微操作控制部件完成指令的执行。时序部件由时钟系统和脉冲分配器组成，用于产生微操作控制部件所需的定时脉冲信号。其中，时钟系统产生机器的时钟脉冲序列；脉冲分配器又称节拍发生器，用于产生节拍电位和节拍脉冲。微操作控制部件为 ID 输出信号配上节拍电位和节拍脉冲，再和外部进来的控制信号组合，共同形成相应的微操作控制序列，以完成规定的操作。

2. 存储器

微型计算机的存储器用于存储数据和程序，是一种采用大规模或超大规模集成电路工艺制成的存储器芯片，通常分为 ROM (Read Only Memory) 和 RAM (Random Access Memory) 两大类。ROM 存储器在正常工作时只能读不能写，通常用来存放固定程序和常数。RAM 存储器在正常工作时既能读又能写，通常用来存放原始数据、中间结果、最终结果和实时数据等。

ROM 和 RAM 的内部结构大致相同，所不同的是存储每位二进制数码的基本电路不一样。ROM 的基本存储电路采用特殊的 FAMOS 管，由 FAMOS 管浮栅内有电荷或无电荷表示存“0”或存“1”；RAM 的基本存储电路是触发器，用触发器的两个暂稳状态来表示存“0”或存“1”。

“1”。图 1-3 中给出了存储器的内部结构框图,由图看出,存储器由存储阵列、地址译码器、地址寄存器、输出数据寄存器和控制部分构成。存储阵列是芯片的主体,由若干存储单元组成,用于存储数据和程序;地址寄存器用于暂存从地址线送来的地址码;地址译码器对地址码译码后,选

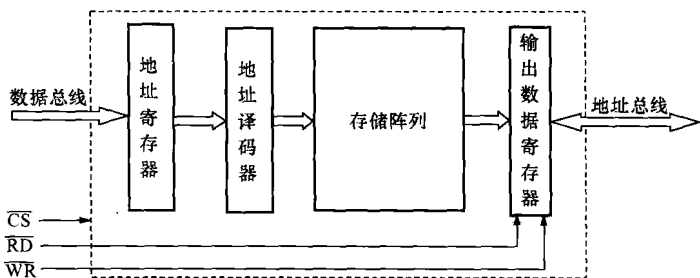


图 1-3 存储器内部结构框图

中相应的存储单元,以便读出和写入数据; $\overline{RD}$ 和 $\overline{WR}$ 为控制线,传送读/写控制信号。

3. 地址总线、数据总线和控制总线

总线是将微处理器、存储器和 I/O 接口等部分连接起来,并进行信息传送的公共通道,通常包括地址总线 AB (Address Bus)、数据总线 DB (Data Bus) 和控制总线 CB (Control Bus)。地址总线 AB 是由 CPU 向存储器或 I/O 接口发出的寻找相应的存储单元或 I/O 的单向信号线,因此,地址总线 AB 必须和所有存储器的地址线对应相连,也必须和所有 I/O 接口的设备地址线相连。这样,当微处理器 CPU 对存储器或外设读/写数据时,只要把存储单元的地址码或外设的设备码送到地址总线上便可选中它们工作。不同的微处理器地址总线条数不同,现在通用的大多数是 16 条,一些新的 CPU 可达 24 条。数据总线是一种双向的通信总线,用于传送 CPU、存储器和 I/O 接口三者之间的数据和指令码。数据总线条数常和所用 CPU 字长相等,但也有内部为 16 位运算而外部仍为 8 位数据总线的情况。控制总线 CB 是用于传送各类控制信号的单向通信总线,控制总线条数因机器而异。

4. I/O 接口

I/O 接口是架设在微处理器和外设间的桥梁,是一种过渡的大规模集成电路芯片,其主要功能是实现 CPU 和外部设备之间的信号匹配。

1.1.3 微型计算机的基本工作原理

微型计算机完成某项任务的过程就是执行相应程序的过程,因此,微型计算机执行程序的过程实际上也体现了微型计算机的基本工作原理。程序均由一条条指令组成,执行程序的过程也就是依次执行每一条指令的过程。下面给出微型计算机执行某段程序第 N 条指令的工作过程。

第 1 步:微处理器通过地址总线 AB 指出第 N 条指令所在存储单元的地址,接着通过控制总线 CB 向存储器发出读取指令代码的控制信号。

第 2 步:存储器将被选中的存储单元中存放的指令代码送到数据总线, CPU 通过数据总线 DB 读入指令代码。

第 3 步: CPU 读取指令代码后进行译码,判断出该指令要进行哪一种操作,以及参加这类操作的数所在的单元地址。

第 4 步: CPU 根据译码结果发出为完成此指令所需要的控制信号序列。

第 5 步:如果还需要从存储器中取操作数,则 CPU 将通过地址总线发出存放操作数的存储单元地址。接着,通过控制总线发出读取数据的控制信号, CPU 将通过数据总线读取数据。

第 6 步:执行指令所规定的操作,若属于运算类操作,则由运算器进行操作;若属于数

据传送或其他操作，则将由控制器向与此操作相关的电路发出相应的控制信号，完成指令所规定的操作。

一条指令执行完后，CPU 内的程序计数器 PC 将自动加“1”，控制 CPU 继续执行程序的下一条指令，CPU 会根据 PC 的值重复取指→执行指令→取指→执行指令……这样一个过程。

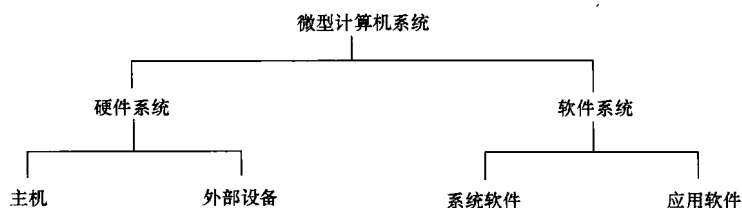


图 1-4 微型计算机系统的组成示意图

1.1.4 微型计算机系统组成

微型计算机系统包括硬件系统和软件系统两大部分，和微型计算机相比，它不仅在硬件设备上更加齐全，而且软件也更为丰富，应用领域更为广泛。微型计算机系统的组成如图 1-4 所示，各主要部件如图 1-5 所示。

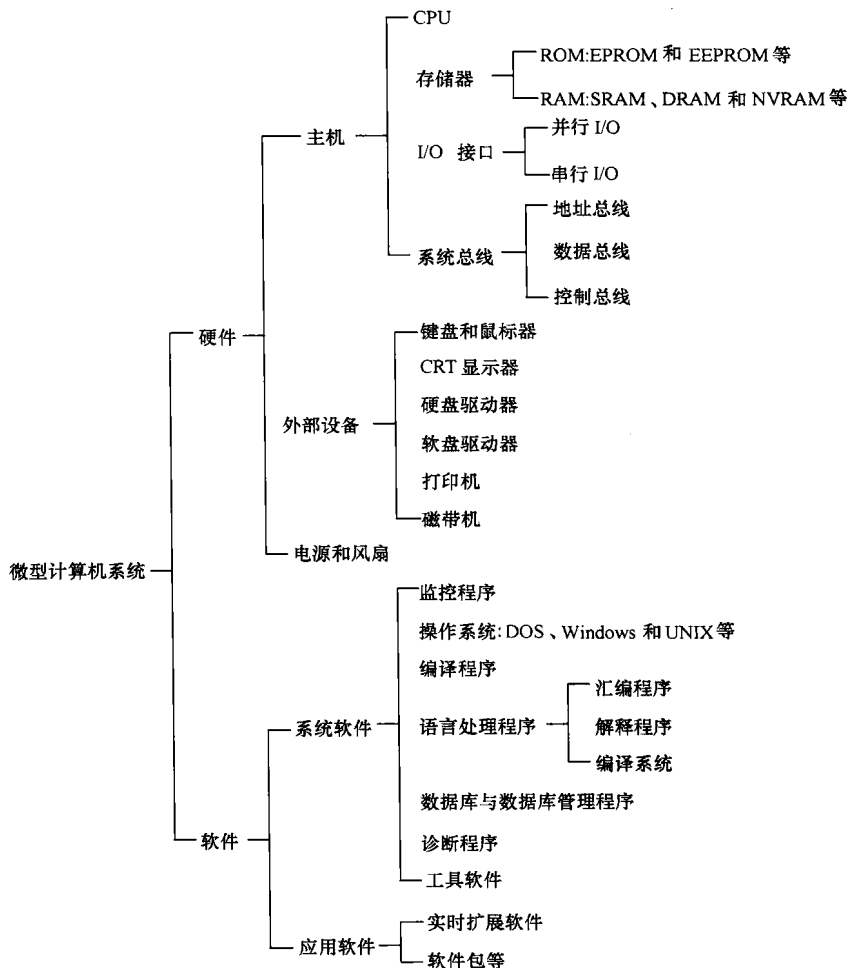


图 1-5 微型计算机系统的组成部件

1. 硬件系统

目前,各种型号的微型计算机系统越来越多,结构各异,但它们都是由一些常用部件组成,常用部件主要有主机、键盘、CRT显示器、硬盘驱动器、软盘驱动器、打印机和电源等。CPU、存储器和I/O接口电路等装在主机板上,主机板上还有若干I/O扩展插槽,用户可根据需要插放所需功能卡。这些功能卡通常有显示卡、网卡等。

2. 软件系统

微型计算机软件通常可分为系统软件和应用软件两大类。

系统软件通常是指管理、监控和维护计算机资源(包括硬件和软件)的一种软件,是由微型计算机设计者提供给用户使用的软件。常用的系统软件主要包括操作系统(常用的操作系统有DOS、Windows和UNIX等)、语言处理程序(包括机器语言、汇编语言和高级语言)、数据库和数据库管理程序DBMS、诊断程序(是一种能对用户程序和计算机故障进行诊断和测试的程序,常和BIOS一起固化在标准CMOS器件中,开机后可随时供用户使用)。

应用软件是指为解决各种实际问题而编制的、具有专门用途的软件。常见的应用软件包括各类生产过程的控制软件、为各类数据处理而编制的软件程序、仪器仪表中的监测控制程序等。

3. 硬件和软件的关系

硬件和软件是微型计算机系统不可缺少的两个部分,它们互相配合,协调一致地工作。对整个系统来说,硬件是软件赖以工作的基础;软件是关键,是关系到系统实现其功能的根本因素。因此,要提高微型计算机系统的产品质量和功能,必须从硬件和软件两方面入手,采用先进的制造工艺进行精心设计。但是,软件和硬件也不是绝对的,一成不变的,软件中的一些功能可以用硬件电路来实现,从而使软件简化;硬件电路中的一些功能也可以用软件替代,从而使硬件电路尽可能简化。因此,随着微型计算机的高速发展,硬件和软件间的相互转化和渗透是经常发生的。

1.2 单片微型计算机概述

单片微型计算机(简称单片机)作为微型计算机的一个重要分支,自20世纪70年代问世以来,以其极高的性价比受到人们的重视和关注,应用很广,发展也很快。单片机具有体积小,重量轻,抗干扰能力强,对环境要求不高,价格低廉,可靠性高,灵活性好,开发较为容易等优点。广大工程技术人员学习有关单片机的知识后,也能依靠自己的力量来开发单片机系统,并可获得较高的经济效益。正因为如此,在我国,单片机已广泛地应用在智能仪器仪表、机电设备过程控制、自动检测、家用电器和数据处理等各个方面。

1.2.1 单片机的历史及发展概况

目前,单片机还没有一个确切的定义,但普遍认为单片机是在一块芯片上集成了中央处理器(CPU),存储器(RAM、ROM)和各种输入、输出接口(定时器/计数器、并行I/O口、串行口、A/D转换器以及脉冲调制器PWM等),使其具有计算机的基本功能,因而被称为单片微型计算机。由于单片机的硬件结构与指令系统的功能都是按工业控制要求而设计的,常用在工业的检测、控制装置中,因而也称为微控制器(Micro-Controller)或嵌入式控制器(Embedded Controller)。

单片机按其用途可分为通用型和专用型两大类。本书所介绍的单片机是指通用型单片机。通用型单片机是把可开发资源（如 ROM、RAM、I/O 口）全部提供给使用者；专用型单片机的硬件结构和指令是按照某个特定用途而设计的，如频率合成调谐器、录音机机芯控制器、打印机控制器等。

1974 年，美国仙童（Fairchild）公司研制出世界上第一台单片微型计算机 F8。从此，单片机开始迅速发展，应用范围不断扩大，现已成为微型计算机的重要分支。其发展过程通常可分为以下几个发展阶段：

第一阶段（1974~1976 年）：这一阶段是单片机发展的起步阶段。这一阶段典型的代表产品有 Fairchild 公司的 F8、Mostek 公司的 3870、德克萨斯仪器公司的 TMS-1000 等。

第二阶段（1976~1978 年）：这一阶段是单片机发展的初级阶段。这一阶段生产的单片机虽然已在片内集成有 CPU、并行 I/O 口、8 位定时/计数器、RAM、ROM 等功能部件，但寻址范围不大于 4KB，且无串行 I/O 口，其性能低、品种少，应用范围也不广。最典型的代表产品是 Intel 公司的 MCS-48 系列机。

第三阶段（1979~1982 年）：这一阶段是 8 位单片机的成熟阶段。这一阶段推出的单片机普遍带有串行 I/O 口，有多级中断处理系统，有多个 16 位定时/计数器，片内 RAM、ROM 容量加大，且寻址范围可达 64KB，有的片内还带有 A/D 转换接口；在指令系统方面，普遍增设乘除指令和比较指令。代表产品有 Intel 公司的 MCS-51 系列机、Motorola 公司的 MC6801 系列机等。

第四阶段（1983 年以后）：这一阶段是 8 位高性能单片机和 16 位单片机并行发展阶段。此阶段的主要特征是：一方面不断完善高档 8 位单片机，改善其结构，提高其性能，以满足不同的应用需要；另一方面发展 16 位、32 位单片机及各种专用单片机。16 位单片机的特点是工艺先进、集成度高、内部功能强、运行速度快，并且允许采用面向工业控制的专用语言，如 PL/M、PLUS C 和 FORTH 语言等。代表产品有 Intel 公司的 MCS-96 系列，其集成度已达 120000 管子/片，主振为 12MHz，片内 RAM 为 232B，ROM 为 8KB，中断处理为 8 级，而且片内带有多通道 10 位 A/D 转换器和高速输入/输出部件（HSI/HSO），实时处理能力很强。而 32 位单片机除了具有更高的集成度外，其主振频率已达 20MHz，这使 32 位单片机的数据处理速度比 16 位单片机快许多，性能比 8 位、16 位单片机更加优越。

20 世纪 80 年代以来，单片机的发展非常迅速，就通用单片机而言，世界上一些著名的计算机厂家已投放市场的产品就有近百个系列、几百个品种。单片机的产品已占整个微机（包括一般的微处理器）产品的 80% 以上，其中 8 位单片机的产量又占整个单片机产量的 60% 以上，这说明 8 位单片机在若干年内仍将是工业检测、控制应用的主角。

1.2.2 单片机的发展趋势

为不断提高单片机的技术性能，满足不同的用户要求，目前，单片机采用了大量最新的技术成果，在 IC 技术、体系结构等方面，正朝着高性能、多品种、多功能的方向发展。其发展主要有如下几方面。

1. CPU 性能的增强和改进

（1）采用双 CPU 结构以提高处理能力。为提高运算速度和精度，通常采用布尔处理机并把内部数据总线宽度增加到 16 位或是 32 位。

（2）采用多级流水线结构。所谓流水线结构，是指当前一个指令周期正在执行时，下一

条指令甚至下几条指令已依次被送到指令队列寄存器中, 这样从宏观上看两条或多条指令的执行在时间上是重复的。这种流水线结构指令以队列形式出现在 CPU 中, 从而大大地提高了微处理器的运算速度。

(3) 采用串行总线结构, 用 3 条数据总线代替现行的 8 位数据总线, 从而大量减少了芯片引脚, 降低了成本。

(4) 采用 RISC 结构。所谓 RISC 结构就是简化指令集的微处理器的结构, 在微处理器芯片中, 将那些不常用的且由硬件实现的复杂指令改由软件来实现, 而硬件只支持常用的简单指令。这种方法可以大大减少硬件的复杂程度, 并显著地减少处理器芯片的门个数, 从而提高处理器的总性能。

(5) 采用并行处理的哈佛 (Harvard) 结构。为克服数据总线宽度的限制, 进一步提高单片机的处理速度, 采用高度并行处理技术——哈佛结构已成为引人注目的趋势。自 20 世纪下半叶以来, 单片集成电路设计和工艺水平的提高使得将原先由许多 IC 组成的电子系统集成在一个芯片上成为可能, 构成所谓的片上系统 SOC (System On Chip)。

2. 内部资源的增多与改进

所谓单片机的内部资源是指片内集成的存储器容量、I/O 口及其他功能部件电路的种类和数量的总和。内部资源的改进主要表现在两方面: 一方面是对常规部件容量的增加和性能的改善。如: 片内程序存储器容量有的已达 32KB, RAM 已达 1KB, 并且 RAM 具有掉电保护功能; 片内 EPROM 已开始 EEPROM/flash、EEPROM /OTP 化, 为用户的使用带来很大的方便。对 I/O 口的性能进行了极大的改善。如: 为减少外部驱动芯片, 增加并行口的驱动能力, 有的单片机能直接输出大电流和高电压, 以便直接驱动 VFD、LED、LCD 等; 为加快 I/O 的传输速度, 许多单片机设置了高速 I/O 口, 使其能以最快的速度触发外设和读取外部事件; 为增强 I/O 口线控制的灵活性, 大部分单片机内部都有布尔处理系统, 能对 I/O 口进行位寻址及位操作。为使单片机方便地构成网络系统, 一般单片机串行接口都具有 USART 功能, 有些高档单片机还设置了一些特殊串行接口功能, 如 SPI (Serial Peripheral Interface)、SDLC (Synchronous Data Link Control) 以及 Token Passing 联络接口、Telecomm 通信接口等。另一方面, 除了单片机一般必须具有的 ROM、RAM、定时/计数器、I/O 口、中断系统外, 随着单片机档次的不断提高和应用需求的不同, 片内集成的部件还有 A/D 转换器、D/A 转换器、DMA 控制器、中断控制器、锁相环、频率合成器、字符发生器、波特率发生器、声音发生器、监视定时器、正弦波发生器、译码驱动器、CRT 控制器、预定标器、比较器等。因此, 采用这类单片机构成控制系统时, 外加硬件电路可以减到最少, 从而大大减少了控制系统的体积, 提高了工作可靠性。

3. 引脚多功能化

随着芯片内部功能的增强和资源的增加, 单片机所需的引脚数也会相应增加, 这是不可避免的。例如, 一个能寻址 1MB 存储空间单片机需要 20 条地址线和 8 条数据线。太多的引脚不仅会增加制造的困难, 也会使芯片的集成度大为降低。为减少引脚数量, 提高应用灵活性, 单片机中普遍采用一脚多用的设计方案。

4. 半导体制造工艺技术的发展使单片机趋于低电压和低功耗化

早期的单片机采用 PMOS 工艺, 接着由 PMOS 发展到 NMOS 工艺, 目前高档单片机已普遍采用 HMOS、CMOS、CHMOS 工艺, 并增加空闲和掉电两种工作方式。半导体工艺

技术的发展对提高单片机的综合性能有极大的好处，主要表现在集成度不断提高、低功耗化、工作电源范围加宽。

1.2.3 单片机的应用

单片机因其体积小、可靠性高、功能强、灵活方便等优点，其应用已深入到工业、农业、教育、国防、科研以及日常生活等各个领域，对各行各业的技术改造和产品更新换代起到了重要的推动作用。按应用范围不同，它的应用可分为工业应用、仪器仪表、民用、通信、导航控制、数据处理、多机分布式系统等。

1.2.4 8位单片机的主要机型

目前世界上较为著名的8位单片机的主要机型如下：

Zilog 公司：Z8 系列、SUPER8 系列。

Microchip 公司：PIC12/14/16/17/18C (F/CR) XX 系列。

Intel 公司：MCS-48、MCS-51 系列。

美国阿特梅尔公司 (Atmel)：AT89CXX 系列、AVRAT90SXXXX 系列。

台湾华邦公司 (Winbond)：W77E/78E/78LEXXX 系列。

美国达拉斯公司 (Dallas)：DS89/80CXXX 系列。

荷兰飞利浦公司 (Philips)：P89/87C5XXXX 系列、P87LPC76X 系列。

其中 Intel 公司的 MCS-51 系列及其增强型系列在 8 位单片机市场中占的份额最大，为 50% 左右，由于 MCS-51 系列单片机比 MCS-48 系列的性能价格比要高得多，所以自 1980 年 MCS-51 系列单片机推出以来，直至现在，其市场仍很坚挺，它已是我国在工业检测、控制领域中的优选機種和机型。

从应用的角度看，MCS-51 系列单片机具有如下一些特点：

(1) 集成度高。MCS-51 系列单片机的典型代表产品为 8031 单片机，8031 单片机芯片内部包含了 128B 的 RAM，4 个 8 位并行 I/O 口，1 个全双工的串行口，2 个 16 位的定时器/计数器，以及一个处理功能很强的中央处理器。MCS-51 系列单片机的另一代表产品为 8751 单片机，它在 8031 单片机的基础上，增加了 4KB 的 EPROM 或 EEPROM。在许多不复杂的场合，只用一片 8751 单片机即可满足要求。

(2) 系统结构简单。MCS-51 系列单片机芯片内部采用模块式结构，增加或更换一个模块就能得到指令系统和引脚兼容的新产品。例如 MCS-52 系列单片机，其结构是增加了 128B 的 RAM 和一个 16 位定时器/计数器。

(3) 系统扩展方便。MCS-51 系列单片机具有外扩展 64KB 程序存储器、64KB 外部 RAM 和 I/O 口的能力。当 MCS-51 系列单片机芯片内部 RAM 和芯片本身的 I/O 口线不够用时，即可进行系统的扩展。许多公司生产的 I/O 接口芯片和各大公司生产的通用存储器芯片都可以直接与 MCS-51 系列单片机相连接，从而很方便扩展系统功能。

(4) 可靠性高。MCS-51 系列单片机的总线大多在芯片内部，不易受干扰，而且 MCS-51 应用系统体积小，容易采取屏蔽等措施，适应范围宽，在各种恶劣的环境下都能可靠地工作。根据其抗干扰性能不同，MCS-51 单片机又有军用、民用之分，用户可根据 MCS-51 单片机系统的应用环境，来选择合适档次的 MCS-51 系列单片机，其中军用芯片的抗干扰性能最强，可靠性最高。

(5) 处理功能强、速度快。MCS-51 系列单片机指令系统中有加、减、乘、除及各种逻辑

辑运算和转移指令，还具有位操作功能，这在检测、控制中特别有用。CPU 时钟频率高达 20MHz，指令系统中近 50% 的指令为单字节指令，指令执行速度快，完成单字节乘法和单字节除法仅需 $4\mu\text{s}$ （时钟频率为 12MHz）。

(6) 容易产品化。由于 MCS-51 系列单片机应用系统具有体积小、可靠性高、功能强、价格低等特点，因此很容易形成产品，可以把它装入各种仪器仪表及控制装置中。

MCS-51 系列单片机的三个基本产品为 8031、8051、8751。它们的引脚与指令系统完全兼容，但在内部结构及应用特性方面存在一些差异。

8031 内部包括一个 8 位的 CPU、128B 的 RAM、21 个特殊功能寄存器（SRF）、4 个 8 位并行 I/O 口、1 个全双工的串行口、2 个 16 位的定时器/计数器，但程序存储器需外扩 EPROM 芯片。

8051 是在 8031 的基础上，片内又集成有 4KB 的 ROM 作为程序存储器，是一个程序不超过 4KB 的小系统。ROM 内的程序是制作芯片时代为用户烧制的，出厂的 8051 都是含有特殊用途的单片机。所以 8051 应用在程序已定、批量大的单片机产品中。由于以上限制，目前国内 8051 很少被采用。

8751 是在 8031 基础上增加了 4KB 的 EPROM，构成了一个程序小于 4KB 的小系统。用户可以将程序固化在 EPROM 中，可以反复修改程序。但其价格相对于 8031 较贵。

8031 外扩一片 EPROM 就相当于 8751，它的最大优点是价格低，目前我国得到了广泛应用。随着大规模集成电路技术的不断发展，能装入片内的外围接口电路也可以是大规模的。Intel 公司在 MCS-51 系列三种基本型产品（8031，8051，8751）的基础上，又推出各类增强型系列产品，即所谓的高档单片机，其主要的增强型产品如下：

1) 8032/8052/8752：将原来的 8031/8051/8751 进行扩展，内部 RAM 增到 256B，8752/8052 片内的程序存储器容量增加到 8KB，定时器/计数器增至 3 个 16 位计数器，有 6 个中断源。

2) 低功耗 CHMOS 工艺芯片 80C31BH/87C51BH/80C51BH：这种芯片允许电流波动范围较大，为 $5\text{V}\pm 20\%$ ，并有两种掉电工作方式。

一种掉电工作方式是 CPU 停止工作，其他部分仍继续工作；另一种掉电工作方式是，除片内 RAM 持续保持数据外，其他部分都停止工作。此类单片机的功耗低，非常适于电池供电或其他要求低功耗的场合。

3) 具有高级语言编程的芯片 8052H-BASIC：芯片内固化有 MCS BASIC52 解释程序，软件开发比较方便，此外还有实现 BCD 码的浮点运算以及十六进制数和十进制转换的功能。BASIC52 语言能和 MCS-51 汇编语言一起使用。

4) 高性能的 8XC52 系列：在 8052 的基础上，采用 CHMOS 工艺，并将 MCS-96 系列中的一些 I/O 部件，如高速输入/输出部件（HSI/HSO）、A/D 转换器、脉冲宽度调制器（PWM）、看门狗定时器（WATCHDOG）等移植进来构成新一代 MCS-51 系列单片机产品，80C252/87C252/83C252 是 MCS-51 系列中的最新产品。Phillips 公司生产的 8XC552 系列即为此类产品，目前此类单片机在我国已得到较为广泛的应用。

5) 低功耗、高性能的 89C51：北京集成电路设计中心推出的 BI/AT μ 89C51 单片机是一个低功耗、高性能的含有 4KB 快擦写可编程/擦除只读存储器（EEPROM）的 8 位 CMOS 单片机，时钟频率高达 20MHz，与 8031 的指令系统和引脚完全兼容。芯片上的 EEPROM

允许在线 (+5V) 电擦除、电写入或采用通用的非易失存储编程器对程序存储器重复编程。此外, BI/AT μ 89C51 还支持由软件选择的两种掉电工作方式, 非常适于电池供电或其他要求低功耗的场合。由于芯片内的 4KB 程序存储器可在线或用编程器重复编程, 受到应用设计者的欢迎, 并得到较为广泛的应用。

尽管 MCS-51 系列单片机有多种类型, 但是掌握好基本型 (8031、8051、8751) 是十分重要的, 因为它是 MCS-51 系列中各种类型单片机的基础, 而且基本型中的 8031 是目前使用最多的。因为 8031 价格低廉, 另外对于大多数工业检测、控制场合, 8031 也能满足要求, 因此本书讨论的重点是 8031 单片机, 以及 8031 单片机应用系统的设计方法。

1.3 微型计算机数制及其转换

迄今为止, 所有计算机都是以二进制形式进行算术运算和逻辑操作的, 微型计算机也不例外。通常人们习惯使用十进制数, 用户在键盘上输入、显示器上显示的一般都是十进制数, 微型计算机必须完成十进制转换成二进制、二进制转换十进制等的数值转换。为使读者弄清计算机的这一工作机理, 首先讨论一下常用数制和数制之间的转换方法。

1.3.1 微型计算机常用数制的特点

数制是数的制式, 是人们利用符号计数的一种科学方法。微型计算机中常用的数制有十进制、二进制、八进制和十六进制, 存储在微型计算机中的信息是二进制形式的信息。人们常用书写起来比较容易的八进制数或十六进制数来描述机器内的二进制数。

1. 十进制数

十进制数的特点有两个: 一是它有 0~9 共 10 个不同的数码, 即 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9, 这是构成所有十进制数的基本符号, 这 10 个数字符号又称为数码; 二是它是逢 10 进位的。十进制数在计数过程中, 当它的某位计满 10 时就要向它邻近高位进一。因此, 每个数码在数中最多可有两个值的概念, 任何一个十进制数不仅和构成它的每个数码本身的值有关, 而且还和这些数码在数中的位置有关。例如: 十进制数 36 中数码 3, 其本身的值为 3, 但它实际代表的值为 30。

任何一个十进制数都可以展开成幂级数形式。例如:

$$(138.38)_{10} = 1 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

式中: 基数为 10 的幂 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 和 10^{-2} , 在数学上称为权, 整数部分中每位的幂是该位在小数点前位数减 1, 小数部分中每位的幂是该位小数点后的位数的负值。

十进制数 N 的一般形式为

$$N = \pm \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i$$

式中: i 表示数中任一位, 是一个变量; a_i 表示第 i 位的数码; n 为该数整数部分的位数; m 为小数部分的位数。

2. 二进制数

二进制数有两个主要特点: 一是它有 0 和 1 两个数码, 任何二进制数都是由这两个数码组成的; 二是二进制数的基数为 2, 它遵循逢二进一的进位计数规则。

同十进制数一样, 任意一个二进制数 N 同样也可以展开成幂级数形式, 2 为计数制的