

S H U Z I L U O J I

数字逻辑

主 编 郭永贞 副主编 龚克西

东南大学出版社

TN79

99

09/14

内 容 简 介

数 字 逻 辑

主 编 郭永贞

副主编 龚克西

东南大学出版社

· 南 京 ·

内 容 提 要

本书系统地介绍数字逻辑电路的基本理论和方法。在取材上,对传统数字逻辑内容中有应用价值的部分阐述清楚、透彻;同时又引入了现代新型逻辑器件、新技术及新的分析与设计方法,如 ispPLD 器件、ASM 流程图及 VHDL 等。本书特别注重理论联系实际,有大量分析、设计及应用举例,有利于学以致用。

本书适用于高等学校计算机及应用、计算机软件、电子信息、自动控制类专业和其他相近专业本科生,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑/郭永贞主编. —南京:东南大学出版社,2003. 2

ISBN 7-81089-083-2

I. 数... II. 郭... III. 数字电路:逻辑电路—高等学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 110851 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 南京化工大学印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:18.75 字数:468 千字

2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:28.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025—3795802)

目 录

1	引 论	(1)
1.1	数字电路与数字系统	(1)
1.2	计算机简介	(2)
	习题 1	(8)
2	数字电路基础	(9)
2.1	数制和码	(9)
2.1.1	常用数制	(9)
2.1.2	数制转换	(11)
2.1.3	二进制数的算术运算	(13)
2.1.4	定点制和浮点制	(15)
2.1.5	常用 BCD 码与 ASCII 码	(16)
2.2	逻辑代数基础	(18)
2.2.1	逻辑变量和基本逻辑运算	(18)
2.2.2	逻辑代数的基本规则和定理	(20)
2.2.3	逻辑函数的表示方法及转换	(22)
2.2.4	逻辑函数的化简	(25)
	习题 2	(33)
3	逻辑门电路	(36)
3.1	分立元件逻辑门电路	(36)
3.1.1	二极管“与门”电路	(36)
3.1.2	二极管“或门”电路	(37)
3.1.3	“非门”电路(反相器)	(38)
3.2	TTL 集成电路门	(38)
3.2.1	TTL 与非门	(38)
3.2.2	集电极开路门(OC 门)	(43)
3.2.3	三态门(TS 门)	(46)
3.2.4	TTL 集成电路系列简介	(48)
3.3	CMOS 门电路	(48)
3.3.1	CMOS 反相器	(49)
3.3.2	CMOS 传输门	(49)
3.3.3	CMOS 集成系列简介	(50)
3.4	集成门电路中使用中应注意的几个问题	(51)
3.4.1	TTL 逻辑电路的使用	(51)
3.4.2	CMOS 电路的操作保护措施	(51)

3.4.3	CMOS 与 TTL 电路接口	(52)
习题 3		(53)
4	组合逻辑电路	(56)
4.1	概述	(56)
4.2	组合逻辑电路的分析和设计方法	(56)
4.2.1	组合逻辑电路的分析方法	(56)
4.2.2	组合逻辑电路的设计方法	(57)
4.3	常用组合逻辑电路模块	(58)
4.3.1	加法器	(58)
4.3.2	数据选择器	(64)
4.3.3	数值比较器	(66)
4.3.4	编码器	(68)
4.3.5	译码器	(72)
4.4	组合逻辑电路中的险象竞争	(80)
4.4.1	产生险象的原因	(80)
4.4.2	险象竞争的判断	(80)
4.4.3	险象竞争的消除方法	(81)
习题 4		(83)
5	时序逻辑电路	(85)
5.1	概述	(85)
5.2	触发器	(86)
5.2.1	基本 RS 触发器	(86)
5.2.2	触发器的逻辑功能分类及逻辑转换	(89)
5.2.3	触发器的触发方式	(92)
5.2.4	触发器中其余端的处理	(94)
5.2.5	触发器的脉冲工作特性及主要参数	(97)
5.3	时序逻辑电路的分析方法	(98)
5.4	计数器	(101)
5.4.1	同步计数器	(102)
5.4.2	异步计数器	(108)
5.4.3	行波计数器	(111)
5.4.4	集成计数器及应用	(111)
5.5	寄存器	(123)
5.5.1	数据寄存器	(123)
5.5.2	移位寄存器	(124)
5.6	脉冲分配器	(133)
5.6.1	计数器和译码器组成的脉冲分配器	(134)
5.6.2	环形计数器作脉冲分配器	(135)
5.7	同步时序逻辑电路的设计	(136)
习题 5		(140)

6	半导体存储器与可编程逻辑器件	(145)
6.1	引言	(145)
6.2	存储器	(145)
6.2.1	半导体存储器的性能指标和分类	(145)
6.2.2	只读存储器 ROM	(146)
6.2.3	随机存取存储器 RAM	(152)
6.3	可编程逻辑器件 PLD	(158)
6.3.1	概述	(158)
6.3.2	可编程只读存储器 PROM	(159)
6.3.3	可编程逻辑阵列 PLA	(160)
6.3.4	可编程阵列逻辑 PAL	(162)
6.3.5	通用阵列逻辑 GAL	(166)
6.3.6	可擦除的可编程逻辑器件 EPLD	(171)
6.4	在系统编程(ISP)技术及 ISP 器件	(174)
6.4.1	ISP 技术	(174)
6.4.2	现场可编程门阵列 FPGA	(175)
6.4.3	在系统可编程逻辑器件 ISP-PLD	(180)
6.5*	硬件描述语言 VHDL	(187)
6.5.1	VHDL 的基本结构与语法	(187)
6.5.2	应用实例	(192)
	习题 6	(198)
7	脉冲波形的产生与变换	(199)
7.1	555 定时器	(199)
7.2	多谐振荡器	(200)
7.2.1	矩形脉冲和多谐振荡器	(200)
7.2.2	用 555 定时器构成的多谐振荡器	(201)
7.2.3	石英晶体振荡器	(203)
7.3	施密特触发器	(204)
7.3.1	施密特触发器的功能与特性	(204)
7.3.2	用 555 定时器构成的施密特触发器	(205)
7.3.3	集成施密特触发器简介	(205)
7.3.4	施密特触发器的应用	(206)
7.4	单稳态触发器	(207)
7.4.1	由 555 定时器构成单稳态触发器	(207)
7.4.2	用集成施密特触发器组成单稳态触发器	(208)
7.4.3	集成单稳态触发器简介	(209)
7.4.4	单稳态触发器的应用	(210)
	习题 7	(211)
8	D/A 和 A/D 转换器	(212)
8.1	引言	(212)

8.2	数模转换器(DAC)	(212)
8.2.1	DAC 的基本原理	(213)
8.2.2	DAC 的参数	(216)
8.2.3	集成 D/A 转换器举例	(216)
8.2.4	集成 DAC 的选用方法	(221)
8.3	模数转换器(ADC)	(221)
8.3.1	ADC 的基本原理	(222)
8.3.2	ADC 的主要技术指标	(225)
8.3.3	集成 A/D 转换器举例	(226)
8.3.4	集成 ADC 的选用方法	(229)
8.4	D/A 和 A/D 转换器的应用	(229)
8.4.1	数据采集与控制系统的功能	(229)
8.4.2	D/A 和 A/D 转换器的选择	(232)
	习题 8	(233)
9	数字系统设计	(235)
9.1	数字系统的基本概念	(235)
9.1.1	数字系统的含义	(235)
9.1.2	数字系统的组成	(235)
9.1.3	数字系统的一般化结构	(236)
9.2	数字系统设计的一般过程	(237)
9.2.1	数字系统的单元和层次	(237)
9.2.2	数字系统设计的一般过程	(239)
9.2.3	数字系统设计的常用工具	(241)
9.3	数字系统的实现方法	(247)
9.3.1	数字系统的总体方案与逻辑划分	(247)
9.3.2	数据处理器的构造方法	(247)
9.3.3	数字系统的控制算法与控制状态图	(248)
9.3.4	控制器的实现方法	(248)
9.4	数字系统设计举例	(249)
9.4.1	用寄存器传送语言设计的电路	(249)
9.4.2	8 位二进制数字密码锁系统	(255)
9.4.3	十字路口交通灯控制系统(一)	(262)
9.4.4	十字路口交通灯控制系统(二)	(267)
9.5	简易计算机的功能分析与电路设计	(269)
9.5.1	简易计算机功能分析与框图设计	(269)
9.5.2	简易计算机控制器设计	(272)
9.5.3	简易计算机部件逻辑图设计	(276)
9.5.4	简易计算机的实现	(282)
	附录 半导体器件的开关特性	(287)
	参考文献	(292)

1 引 论

内容提要 本章首先简要介绍数字电路的一些基本概念、特点和功能,以及数字系统的概念;然后简要介绍现代数字系统之一的计算机的发展、类型及应用;同时结合实际提出学习本书知识应达到的基本要求。

1.1 数字电路与数字系统

数字电路与模拟电路一样同属于电子线路。模拟电路处理的是在时间和幅度上均为连续变化的模拟信号;数字电路处理的是一种时间上和幅度上均为离散的数字信号。数字系统指能实现一定功能的、复杂的数字电路电气装置。

1) 数字量与数字信号

离散信息的特征是不连续性。例如某班学生的人数、性别和籍贯,人数只能是一定区间内的正整数,籍贯仅为若干个有限的地名,而性别只有两种,这些信息仅可能取若干个特定的值或形态,所以也可以把这些离散信息用数字量来表征。数字量的定义是:如果某物理量仅能取某一区间内的若干个特定值,则称该物理量为数字量。

在数字电路中,基本工作信号是二进制的数字信号,也称二值信号,在电路中用该信号的高电平和低电平两种状态来表示 1 和 0 两种算术值或者逻辑值。而由多个 0 和 1 的不同组合(即编码)就可表示各种意义的数字量或数字信息。该编码中所包含的 0、1 符号的个数称为位数。

2) 数字元件与数字电路

由于数字电路处理的是高电平和低电平两种状态的电信号,因此,组成数字电路的基本元件是开关元件。早期数字电路的开关元件是电磁继电器,现代数字电路的开关元件主要是由半导体三极管和场效应管构成的称之为门的电路,在数字电路中稳态时的半导体管一般都是工作在开、关状态。随着半导体工艺的发展,开关元件的集成化程度越来越高,根据集成芯片内包含的门数,把数字集成电路器件分为小规模集成电路 SSI (Small Scale Integration)、中规模集成电路 MSI (Medium Scale Integration)、大规模集成电路 LSI (Large Scale Integration)、超大规模集成电路 VLSI (Very Large Scale Integration)。此外,也有根据用户需要设计的专用集成电路 ASIC (Application Specific Integrated Circuits),以及用户可以自己编程设计的可编程逻辑器件 PLD (Programmable Logic Device)。数字系统设计者的任务之一就是正确地选择和使用这些数字元件来构成数字电路。

数字电路具有下列特点:

(1) 数字电路研究的主要问题是输入信号的状态(0 或 1)和输出信号的状态(0 或 1)之间的关系,即逻辑关系,也就是电路的逻辑功能。

(2) 在数字电路中使用的主要工具是逻辑代数(又叫开关代数或布尔代数),主要应掌

握逻辑分析和逻辑设计方法。

(3) 数字电路的基本功能是对输入的数字信号进行算术运算和逻辑运算,也就是说具有一定“逻辑思维”能力。例如,把学生的年龄、性别和籍贯用二进制数表示并加于某数字系统,该系统进行处理后产生各年龄段的学生数、男女生数、各地区的学生数等统计信息,这些信息仍然是数字量。因此,数字电路是计算机、自动控制系统、各种智能仪表、现代通信系统等的基本电路,是学习这些专业知识的基础。

(4) 数字电路中的开关元件工作时只要能可靠地区分 0 和 1 两种状态即可,所以对元件的精度要求不高,电路组成相对模拟电路要简单,易于实现集成化;输入信号的高、低电平也是在一定允许区间内即可,因此,数字电路的抗干扰能力较强,系统的可靠性较高。这也是数字电路的应用日趋广泛的原因。

(5) 数字电路的发展与数字元件的发展紧密相连,集成电路工艺的高速发展,使逻辑设计技术在不断变革。随着在系统可编程大规模集成电路 ISP LSI (In System Programmable LSI) 器件产品的不断推陈出新,使得普通实验室条件下,数字系统的设计与实现有可能采用 EDA(Electronic Design Automation) 软件工具来进行,从而把设计人员从费时、费力又费钱的手工搭试硬件及验证设计正确性的劳动中解放出来,所有的设计验证直至最后对可编程器件的编程,均是通过操作计算机上的 EDA 软件来完成的,使数字系统特别是复杂的数字系统的设计效率以及一次成功的概率大大提高。因此 EDA 软件和计算机已成为当今逻辑设计的重要工具。所以,我们在学习数字电路时,既要打好基础,掌握数字电路的基本原理和基本方法,又要关注学习新知识、新技术。

3) 数字系统

现代数字系统是由硬件和相应的软件组成的。除了像计算机这样复杂的数字系统外,我们周围还有许多数字系统。例如十字路口红绿灯交通控制器,就是一个输入为秒信号,输出为控制红绿灯亮、灭的高、低电平信号。这个数字系统的输入和输出都是数字信号。也可以把模拟信号通过 ADC(模数转换器)器件转换成数字系统进行处理,输出的数字信号还可以通过 DAC(数模转换器)再转换成模拟信号,所以数字系统可以广泛地应用于各种自动控制系统,实现对温度、压力、速度等物理量的控制。

1.2 计算机简介

人类社会的进步离不开信息革命,人们把语言的产生、文字的出现、印刷术的发明看作是第一、二、三次信息革命,而第四次信息革命则是和计算机的发展紧密相连的电子信息技术的应用。

1) 计算机的发展

计算机是一种能够自动、高速、精确地完成信息存储、数据计算、传输与处理以及过程控制的数字系统。在当今社会中,计算机已广泛应用于国民经济的各个领域和人们的日常生活中。从 1945 年世界上第一台电子计算机在美国的宾夕法尼亚大学问世以来,至今计算机已经历了电子管、晶体管、中小规模集成电路、大规模和超大规模集成电路等四代变革,目前第五代基于超大规模集成电路的计算机正在研制和发展之中。

新一代计算机的目标是高度智能化,且使用方便。具备声音、图像、文字等的输入输出

功能;能用自然语言进行会话处理;能按软件任务书的描述直接合成处理程序;具有积累知识、问题求解及联想、推理等功能;它的使用方式将有彻底变革,将做到能听、能看、会说、能显示图像,会思考推理。因此,它的组成可能会有光子、超导和生物元件等元器件。

2) 计算机的类型

通用计算机一般分为巨型机、大中型机、小型机和微型机等类型。

巨型机主要用于尖端科学和军事技术等领域。它存储容量大,功能强,可对数据进行高速、精确的处理。例如曙光 3000 超级服务器。

大型机主要用于计算中心和计算机网络中。它是为那些要求信息流动量大、计算量大、通信能力高的用户设计的。

中型机的性能和价格低于大型机。它越来越多地应用于网络中。

巨型机和大中型机运算速度快、网络能力强,允许成百上千个用户同时使用。图 1-1 是它们的基本原理结构图。由图可知,其中央处理系统由 CPU 阵列组成,并有容量很大的局部存储系统供中央处理系统使用,所以功能十分强大。它们采用多层总线结构,内部存储器和外部存储器系统的容量巨大。从结构和硬件电路看,巨型和大中型机实际上是计算机系统;从使用来看,它们以专业操作系统为主,可以执行规模巨大的软件系统。

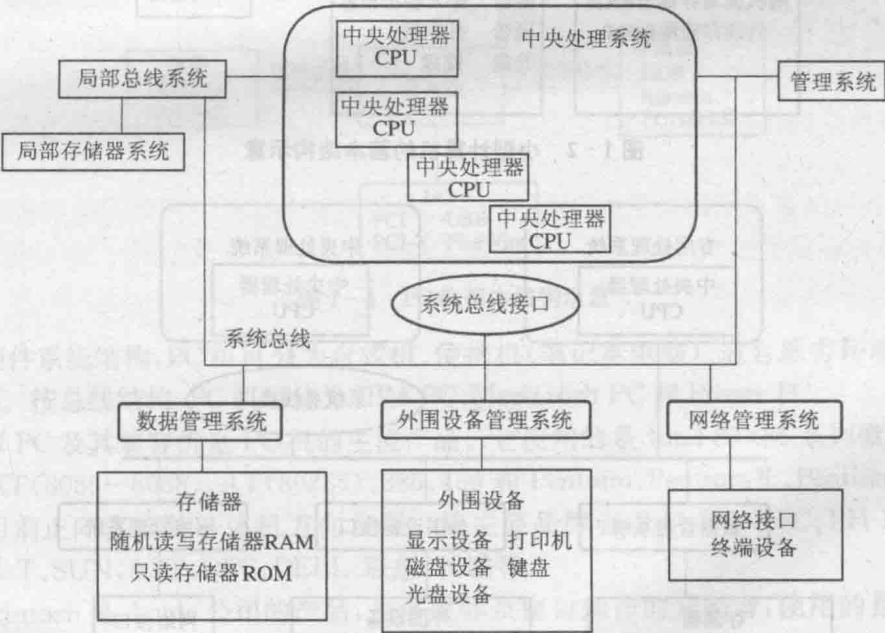


图 1-1 巨型和大中型计算机的基本结构示意图

小型机与巨型机和大中型机相比,结构简单、体积小、重量轻、价格低、操作简便,更多的用作各种中小规模计算机网络、信息网络和通信网络的中心处理机。图 1-2 是其基本原理结构图。

微型计算机是 1971 年由 Intel 公司首先推出的。它由微处理器、半导体存储器、外围设备、输入/输出接口等通过总线连接构成。由于其体积小、价格低廉、使用灵活方便可靠、通用性强,近 30 年来在数据采集、过程控制、智能化仪器仪表、机电一体化、办公自动化、网络技术以及家用电器等方面获得了极其广泛而又成功的应用,使许多领域的技术水平和自

动化程度得以大大提高,其产品性能和品种也得到迅速发展。微型计算机俗称微电脑,按用途不同可分为工作站、网络服务器、PC机、单板机和单片机,下面分别予以介绍。

(1) 工作站是一种系统复杂程度和价格低于小型机,且具有较强的专业信息处理功能的微机,例如图形工作站、多媒体处理工作站等。在工作站中允许有多个微处理器(MPU)通过系统总线共同工作,可以实现多终端和多任务,同时还具有相当强的网络工作能力,因此适合形成计算机网络和计算机工作平台。图 1-3 是工作站的基本结构示意。

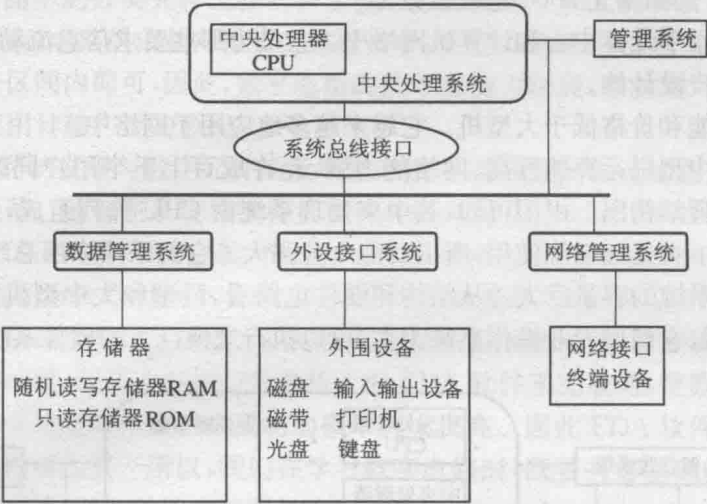


图 1-2 小型计算机的基本结构示意图

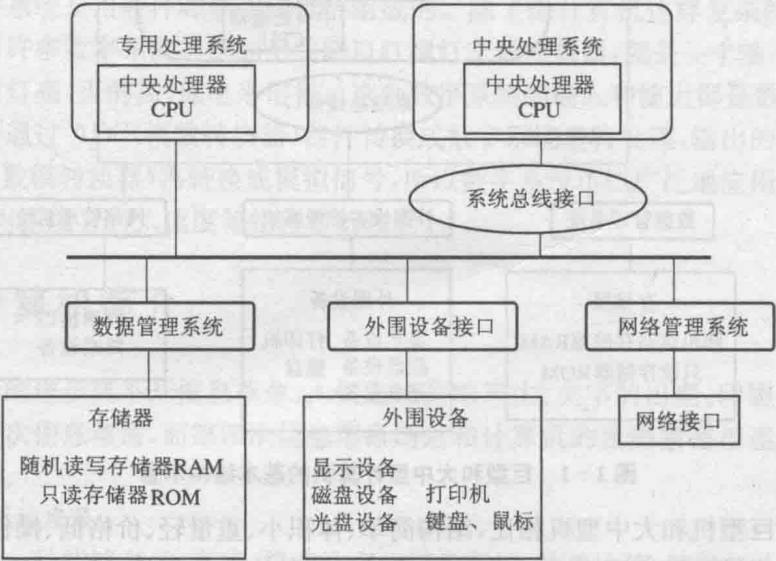


图 1-3 工作站的基本结构示意图

(2) 网络服务器的作用是计算机局域网(LAN)提供网络管理和共享资源,是组成微机局域网的核心,使人们通过局域网在小范围内共享如数据、图片、程序以及工程设计结果等资源,实现多人配合工作,以及使用较低档次的微机进行较高档次的工作。它可以是专

用的网络服务器,也可以用一台存储容量大、时钟频率高和更大硬盘的功能较强大的微机代替。

网络服务器可分为系统服务器和文件服务器两种。

在系统服务器组成的网络中,各种程序和资源全部存放在服务器上,网络终端用户微机的程序也在服务器中运行。网络服务器更接近于小型机。例如 Motorola 公司的 SERIES900 系列服务器和多用户计算机,就是一种具有系统组合扩展能力、支持系统不同硬件组合升级、与 UNIX SYSTEM V 操作系统兼容、支持 VME 总线和 SCSI 接口设备的系统服务器。

文件服务器只起网络管理和提供数据库资源的作用,网络终端用户微机的程序不能在服务器中执行。当用户需要使用服务器中的程序时,服务器可以把相应程序传送给用户微机。

(3) PC 机是目前使用最广泛,也是发展最快的一类微型计算机。图 1-4 是它的基本结构示意图。

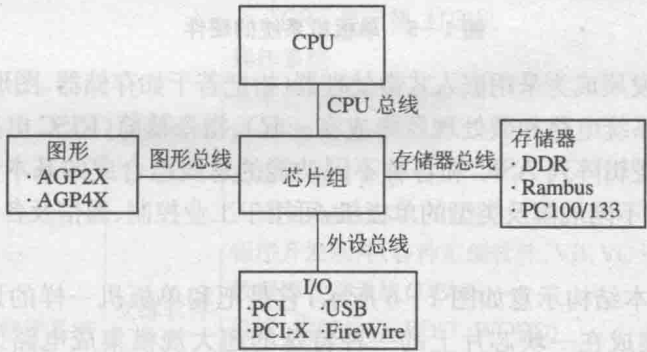


图 1-4 PC 机基本结构示意图

按硬件系统结构,PC 机可分为台式机、便携机(笔记本电脑)、适合恶劣环境使用的工业 PC 机。按总线结构,PC 机可分为 IBM PC、Macintosh PC 和 Power PC。

IBM PC 及其兼容机是 PC 机的主流产品。它使用的是 Intel 80X86 系列微处理器,经历了 XT(8086—8088)、AT(80286)、386、486 和 Pentium、Pentium II、Pentium III、Pentium IV,目前正向多媒体一体机方向发展。其主要品牌有 IBM PC、I PC、PH PC、COMP PC、AT&T、SUN、AST、DEC、DELL、联想、长城等。

Macintosh 是 Apple 公司的产品,是多媒体及窗口操作的开拓者,使用的是 Motorola 公司的 MC680X0 系列微处理器。经历了 Apple、Apple II 和 Macintosh 三代,目前正向通用型和大规模集成化发展。

Power PC 是 Apple、IBM 和 Motorola 三家联合在 20 世纪 90 年代初开发的新一代 PC 机,使用的是 P60X 系列微处理器,特别适合于网络通信、数字视频处理、多媒体系统开发、动画制作、3D 处理、CAD 以及工程计算、EDA 技术等。Power PC 的品牌有 IBM 的 Power Servers、Motorola 的 Power Stack、Apple 的 Power Macintosh、IPC 的 Austin Power Play 等。

IBM PC、Macintosh、Power PC 三种 PC 机的指令系统、操作系统和总线各不相同,所以它们的硬件和软件不能互相兼容,特别是 IBM PC 和 Macintosh 完全不兼容;Power PC

内部有 Intel 仿真器电路,可以运行 IBM PC 的软件。但它们都有 IDE 外围设备接口,可以使用相同的一些外围设备。

(4)单板机的基本结构示意图如图 1-5 所示,它是把 CPU、ROM、RAM 及各总线接口等计算机系统的基本部分安装在一块电路板上组成。只要给它配上必要的外围设备,就可以构成一个完整的微机系统。

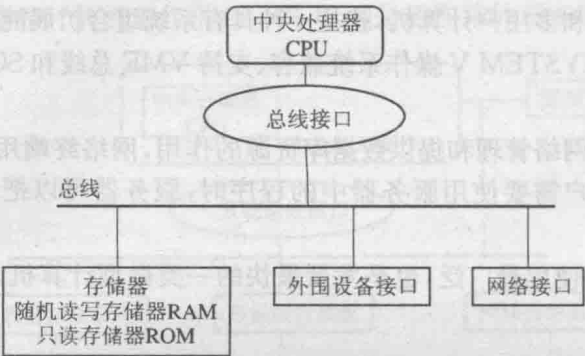


图 1-5 单板机系统的硬件

目前,单板机已发展成为采用嵌入式微处理器(指把若干如存储器、图形显示功能电路、总线接口、通信接口等系统电路和微处理器集成在一起)、指令精简(RISC 电路)微处理器、大规模存储器、超大规模逻辑阵列 ASIC 和各种不同功能的总线组合成的基本计算机模块。用这些模块可方便地组成不同规模及类型的单板机,可用于工业控制、通信及各种智能网络终端等系统中。

(5)单片机的基本结构示意图如图 1-6 所示,它是把和单板机一样的计算机的基本系统以及一些专用电路集成在一块芯片上的一种特殊的超大规模集成电路。又称“微控制器”(Microcontrollers)。

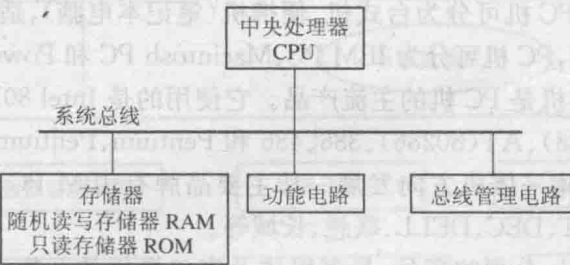


图 1-6 单片机的基本结构示意图

单片机除了具有数据处理能力外,片内还有模/数转换、定时/计数器、并行接口(PIO)、串行通信接口(SCI)、串行外设接口、通用输入/输出(I/O)口、显示器驱动、模拟多路转换开关、脉宽调制(PWM)输出等电路,这些电路在 CPU 和软件控制下可完成系统规定的各项任务。因此功能更强。

3) 微型计算机系统

微型计算机系统组成如图 1-7 所示,包括硬件系统和软件系统两部分。

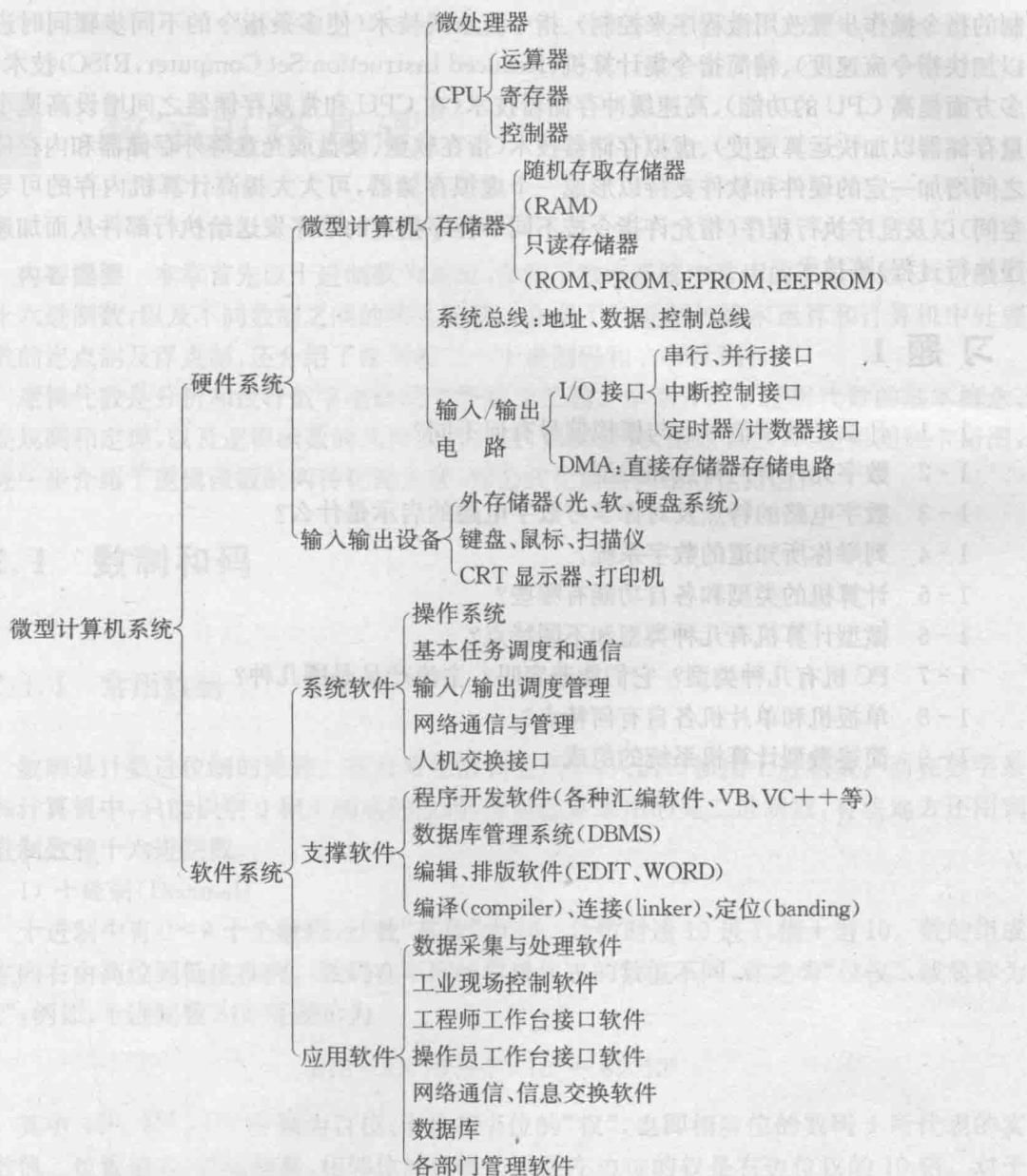


图 1-7 微型计算机系统组成

4) 计算机技术的发展

计算机的体系结构正朝着网络化、多媒体化、智能化和并行化(指实现计算机的并行信息处理)方向发展。

在计算机硬件器件方面,微处理器的发展方向主要是嵌入式;存储器主要是提高容量、减小体积;系统逻辑器件主要是提高集成度及可编程逻辑功能;计算机的印制电路板(PCB)正在向多层、高密度、智能化布线技术方向发展。

计算机总线的发展方向是开放式总线结构、动态高速宽数据和地址总线。

目前高档微机应用的现代先进计算机技术有:微程序控制技术(将原来由硬件电路控

制的指令操作步骤改用微程序来控制)、指令流水线技术(使多条指令的不同步骤同时进行以加快指令流速度)、精简指令集计算机(Reduced Instruction Set Computer,RISC)技术(从多方面提高 CPU 的功能)、高速缓冲存储器技术(在 CPU 和常规存储器之间增设高速小容量存储器以加快运算速度)、虚拟存储器技术(指在软盘、硬盘或光盘等外存储器和内存存储器之间增加一定的硬件和软件支持以形成一个虚拟存储器,可大大提高计算机内存的可寻址空间)以及乱序执行程序(指允许指令按不同于程序指定的顺序发送给执行部件从而加速程序执行过程)等技术。

习题 1

- 1-1 什么是数字信号? 与模拟信号有何不同?
- 1-2 数字元件有何特点和类型?
- 1-3 数字电路的特点及对你学习数字电路的启示是什么?
- 1-4 列举你所知道的数字系统。
- 1-5 计算机的类型和各自功能有哪些?
- 1-6 微型计算机有几种类型和不同特点?
- 1-7 PC 机有几种类型? 它们能兼容吗? 主流产品是哪几种?
- 1-8 单板机和单片机各自有何特点?
- 1-9 简述微型计算机系统的组成。

内容提要 本章首先以十进制数为基础,介绍了数字系统中常用的二进制数、八进制数和十六进制数,以及不同数制之间的相互转换。介绍了二进制的算术运算和计算机中处理小数的定点制及浮点制,还介绍了常用的二—十进制码和 ACSII 码。

逻辑代数是分析和设计数字电路的重要数学工具。本章介绍了逻辑代数的基本概念、重要规则和定理,以及逻辑函数的几种表示方法,如真值表、函数表达式、逻辑图和卡诺图,并进一步介绍了逻辑函数的两种化简方法,即公式化简法和图形化简法。

2.1 数制和码

2.1.1 常用数制

数制是计数进位制的简称。在日常生活和生产中,人们习惯用十进制数。而在数字系统和计算机中,只能识别 0 和 1 构成的数码,所以经常采用的是二进制数,有些地方还用到八进制数和十六进制数。

1) 十进制(Decimal)

十进制中有 0~9 十个数码,计数“基数”为 10。计数时逢 10 进 1,借 1 当 10。数的组成自左向右由高位到低位排列。数码在不同的位置代表的数值不同,称之为“位权”,或简称为“权”,例如,十进制数 818 可表示为

$$818 = 8 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 8 \times 10^0$$

其中 10^2 、 10^1 、 10^0 分别为百位、十位和个位的“权”,也即相应位的数码 1 所代表的实际数值。位数越高,权值越高,相邻位的权值关系是左边位的权是右边位权的 10 倍。对于任意一个十进制数,都可以表示成

$$(N)_D = (N)_{10} = \left(\sum_{i=-m}^{n-1} K_i 10^i \right)_{10} \quad (2-1)$$

式中, K_i 为十进制数第 i 位的数码, n 表示整数部分的位数, m 表示小数部分的位数, n 、 m 都是正整数, 10^i 为第 i 位的位权值,例如,十进制数 54.324 可表示为

$$54.324 = 5 \times 10^1 + 4 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2} + 4 \times 10^{-3}$$

将上述用位权与数码乘积之和的形式来表示十进制数的方法用于其他进制的数时,便可计算出该进制数所对应的十进制数值。

2) 二进制(Binary)

二进制数由 0 和 1 两个数码组成,每个数位的位权值为 2 的幂,计数时,逢 2 进 1,借 1

当2,也就是说,二进制的计数基数为2。它的组成也遵循自左向右由高位到低位排列,对于任意一个二进制数,都可以表示成

$$(N)_B = (N)_2 = \left(\sum_{i=-m}^{n-1} K_i 2^i\right)_{10} \tag{2-2}$$

式中, K_i 为二进制第 i 位的数码, 2^i 为第 i 位的位权值, n 表示整数部分的位数, m 表示小数部分的位数, n, m 均为正整数, 式(2-2)右边的计算结果即为二进制数 N 所对应的十进制数值。例如, 二进制数 101.001 按式(2-2)展开计算的结果如下:

$$(101.001)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (5.125)_{10}$$

3) 十六进制(Hexidecimal)

十六进制数有 0~9 和 A、B、C、D、E、F 共 16 个数码, 它也是自左向右由高位向低位排列。其计数基数为 16, 计数时, 逢 16 进 1, 借 1 当 16。每个数位的位权值为 16 的幂。十六进制数比二进制数位数少, 便于书写和记忆, 因此在计算机中经常使用。任意十六进制数可表示为

$$(N)_H = (N)_{16} = \left(\sum_{i=-m}^{n-1} K_i 16^i\right)_{10} \tag{2-3}$$

式中, K_i 为十六进制数第 i 位的数码, 16^i 为第 i 位的位权值, n, m 的含义与式(2-1)和式(2-2)中含义相同, 例如, 十六进制数 6A.F4 可表示为

$$(6A.F4)_{16} = 6 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 15 \times 16^{-1} + 4 \times 16^{-2} = (106.953125)_{10}$$

4) 八进制(Octal)

八进制数有 0~7 八个数码, 其计数基数为 8, 计数时, 逢 8 进 1, 借 1 当 8, 它每个数位的位权值为 8 的幂, 任意八进制数按位权展开的方法与二、十、十六进制数相同。表 2-1 为各种数制的对照表。

表 2-1 数制对照表

对照内容	十进制	二进制	十六进制	八进制
数码	0,1,2,3,4,5, 6,7,8,9	0,1	0,1,2,3,4, 5,6,7,8,9, A,B,C,D,E,F	0,1,2,3, 4,5,6,7
进(借)位 规律	逢 10 进 1 (借 1 当 10)	逢 2 进 1 (借 1 当 2)	逢 16 进 1 (借 1 当 16)	逢 8 进 1 (借 1 当 8)
基数	10	2	16	8
权	10^i	2^i	16^i	8^i
表达式 (十进值)	$(N)_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i 10^i$	$(N)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i 2^i$	$(N)_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i 16^i$	$(N)_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i 8^i$
数值表示	0	0000	0	0
	1	0001	1	1
	2	0010	2	2
	3	0011	3	3
	4	0100	4	4
	5	0101	5	5