

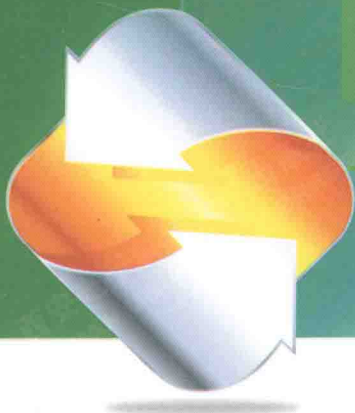


高等学校电子信息类规划教材

01001011011100110110011

100100011010001101010010101

100100011010001101010010101



数字电子技术与微处理器基础（上册） ——现代数字电子技术

西安交通大学电子学教研组
宁改娣 金印彬 张虹

编

宁改娣 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子信息类规划教材



数字电子技术与微处理器基础(上册)

——现代数字电子技术

西安交通大学电子学教研组 编
宁改娣 金印彬 张虹

宁改娣 主编

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书在传统“数字电子技术”的基础上,增强了基于FPGA的现代数字电子技术设计方法,并将“微处理器”类课程内容和“数字电子技术”有机地结合在一起,消除了传统“数字电子技术”学习内容零散的缺陷,可以更好地理解微处理器的结构和工作原理。针对目前“微处理器”类课程只介绍某一处理器芯片的使用,本书增加了对微处理器结构原理、中断、程序引导、硬件最小系统等普遍性概念的介绍。

上册相对以往同类书籍的特点有:前移PLD内容以便实验时更好理解和使用PLD;将微处理器典型硬件最小系统渗透到“数字电子技术”相关知识中。例如,介绍译码器作为地址译码器,三态门之后引入总线的概念,在脉冲产生部分介绍微处理器的复位和时钟电路等,最后自然形成了微处理器硬件最小系统,增强所学内容的实用性,也避免原来“数字电子技术”内容零散及不知所用的感觉;删除了主从JK触发器、基于门的组合电路分析与设计方法、基于门的斯密特触发器和单稳态触发器的介绍。下册微处理器基础中,介绍微处理器应用的软、硬件普遍性概念和一般规律,而非仅仅学习某一微处理器芯片,重点在于软、硬件基本功训练。

本书可作为高等学校电气工程、计算机科学与技术、控制科学与工程、电子信息工程、生物医学工程、机械设计制造及其自动化等专业的本科生教材,也可供数字电路设计工程师和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术与微处理器基础.上册,现代数字电子技术/宁改娣主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2015.2

高等学校电子信息类规划教材

ISBN 978-7-5606-3673-3

I. ①数… II. ①宁… III. ①数字电路—电子技术—高等学校—教材 ②微处理器—高等学校—教材 IV. ①TN79 ②TP332

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第035100号

策 划 邵汉平

责任编辑 邵汉平 董柏娴

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2015年2月第1版 2015年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 22.5

字 数 531千字

印 数 1~3000册

定 价 40.00元

ISBN 978-7-5606-3673-3/TN

XDUP 3965001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

一、“数字电子技术”和“微处理器”类课程的重要性及现状

“数字电子技术”是进入数字世界的第一门课程，是电类专业必修的专业基础课程，这门课程的掌握情况直接关系到其他专业课程的学习和科研训练。数字电子技术的高速发展印证着摩尔定律，一度靠传统手工设计将中小规模集成器件组合成“板上系统”的时代也早已脱胎为基于可编程逻辑器件(PLD)和专用集成器件(ASIC)实现的“片上系统”时代。教科书、教学和实验内容也因摩尔定律而缩短了适用期，各个高校在该领域形成的金字塔地位将不再坚固。

随着微处理器设计、性能和制造技术的不断发展，“单片机原理”“数字信号处理器原理及应用”“嵌入式系统”等纷纷出现在高等教育的课程设置中。这些充分反映了未来电子技术的发展方向和市场需求，也预示着新的就业方向。

我校“数字电子技术”实验平台和实验内容的更新周期不超过 10 年，但授课教材和上课内容相对比较落后，自 2013 年出版了《数字电子技术与接口技术实验》(西安电子科技大学出版社,2013 年出版)教材后，更凸显出数字电子技术课程内容的配套。微处理器就是一个典型的“片上”数字系统，这些年来，只要出现高性能的处理器，就开设一门新课程介绍一个或某一类微处理器 IC 芯片及其应用，不仅增加了学生负担、学时数，也打乱了教学计划，很多院校为了后续“微机原理”课程，需要将“数字电子技术”(简称“数电”)提前在“模拟电子技术”(简称“模电”)之前，甚至也影响到“电路”课程的安排。而且“微处理器”类课程与“数电”独立开课，存在重复、断层、应用训练少等诸多问题。各“微处理器”类课程也有低层次的重复教学与实验，虽然花费了大量的宝贵学时，但教学的效果和学生掌握的技能并不令人满意。

本书希望在最基础的“数电”课程中增强基于 FPGA 的现代电子技术设计方法，并将“微处理器”类课程内容和“数电”有机地结合在一起，将微处理器结构作为数字电子技术的一个应用实例，这样不仅消除了传统数字电子技术学习内容零散的缺陷，也可以更好地理解微处理器的结构和工作原理。同时，可以减少总的学时和学分数，方便教学计划的安排。

二、本书特点

本书与现已出版的“数字电子技术”和“微处理器”类教材相比，增加了计算机的发展概述和数字电子技术的基本概念；增加传统内容的实用性介绍；补充介绍中断控制逻辑需要的优先编码器、算术逻辑单元(ALU)、总线结构、键盘扫描编码、存储器扩展、时钟和复位电路等，掌握这些基本电路，有利于在“数电”课程最后搭建起一个微处理器最小系统。这不仅将数字电子技术零散的内容融为一体，而且在学习各个部分时，学生也会更有兴趣；删减了基于门以及中规模器件的组合/时序电路分析和设计部分。

为了与实验有效配合，增加了对 FPGA 结构和原理的介绍，补充了 Verilog HDL，将触发器和可编程逻辑器件两章内容提前至集成门之后进行讲述。在后续章节中，就可以给

出验证性和设计性实验内容,并增加 EDA 仿真实验,使学生一开始就学习和利用现代电子设计不可或缺的 EDA 工具。“数电”的教学环节采取“黑板+PPT+EDA 仿真”的模式,这样不仅使课程与实验衔接紧密,加深学生对所学理论知识的理解,而且利用课外学时也解决了实验时间有限的问题,加强了 FPGA 的实验效果。MIT、Stanford、UC Berkeley 等高校的数电教学基本都是在 FPGA 上开展的。

微处理器就是一个典型的“片上”数字系统,其结构原理和应用可以很容易地补充到数字电子技术课程中,不仅使数字电子技术原本基础的内容可以在介绍微处理器时系统化,而且可以解决重复、衔接断层等问题,节省学时,有效提高教学效果。

目前的“微处理器”类课程都是介绍某一处理器芯片如何使用的,但微处理器品种繁多,更新换代很快,这种教材编写和教学方式不具备普遍性,不利于学生自学新的微处理器。本书增强对著名处理器厂家不同类型微处理器结构原理、中断、程序引导的普遍性概念介绍,展示给读者一个学习处理器的方法,而非仅仅学会某一处理器芯片的使用。

三、本书的组织结构

基于上述编写思想,本书命名为“数字电子技术与微处理器基础”。为了配合目前的教学计划以及不同读者需要和方便使用,本书分为上、下两册。上册为“现代数字电子技术”,下册为“微处理器原理及应用”。本书可作为“数字电子技术与微处理器基础”一门课程的教材,也可以独立作为“数字电子技术”和“微处理器基础”两门课程的教材。本书从介绍组成数字系统的一些基本概念入手,逐步深入探索数字世界。

本书作者都是长期从事“电子技术”和“微处理器”类课程教学和实验指导的教师,书中内容是对作者一直从事的“数字电子技术”和“微处理器”类课程教学经验的总结。本书上册编写具体分工为:宁改娣组织讨论和负责教材内容的策划,承担教材的统稿和审稿工作,编写第 1~4、7~10 章和附录 1;金印彬编写第 5、6 章和附录 2;张虹编写第 11 章。

本书的撰写得到了西安交通大学电子学教研组老师、依元素科技公司陈俊彦总经理、Xilinx 大学计划部负责人谢凯年和陆佳华的大力支持,向各位致以衷心的感谢!

本书可作为高等学校电气工程、计算机科学与技术、控制科学与工程、电子信息工程、生物医学工程、机械设计制造及其自动化等专业的本科生教材,也可作为数字电路设计工程师和技术人员的参考书。

数字电子技术发展日新月异,书中内容若有疏漏和错误,欢迎专家、使用本书的教师和学生提出意见和建议,以便不断完善。

编者

2014 年 10 月于西安交通大学

目 录

第 1 章 计算机发展及数字电子技术

基本概念	1
1.1 计算机的发展	1
1.2 微处理器、微控制器及嵌入式处理器	5
1.3 数字电子技术基本概念	6
1.3.1 数字世界是 0 和 1 的世界	6
1.3.2 模拟信号和数字信号	7
1.3.3 时钟脉冲信号及技术指标	9
1.3.4 数字电子电路及特点	10
1.3.5 数字电路分类及基本单元	12
1.4 数字电子技术的重要性	12
思考题	13

第 2 章 数字逻辑基础

2.1 数制	14
2.1.1 几种常用的数制	14
2.1.2 数制之间的转换	16
2.2 码制	18
2.2.1 二-十进制码	19
2.2.2 格雷码	20
2.2.3 奇偶校验码	21
2.2.4 字符码	22
2.2.5 汉字编码	22
2.3 算术运算与逻辑运算	24
2.3.1 算术运算	24
2.3.2 基本逻辑运算及逻辑符号	27
2.3.3 复合逻辑运算	29
2.3.4 逻辑代数的基本定理	30
2.4 逻辑函数及其表示方法	31
2.4.1 逻辑函数的概念	31
2.4.2 逻辑函数的表示方法	32
2.4.3 逻辑函数各种表示方法之间的 转换	36
2.5 逻辑函数化简与变换	38
2.5.1 逻辑函数化简与变换的意义	38
2.5.2 代数化简法	39
2.5.3 卡诺图化简法	40

2.5.4 具有无关项逻辑函数的化简	40
本章小结	42
思考题与习题	42

第 3 章 集成逻辑门电路

3.1 集成电路基本概念	45
3.1.1 集成电路的分类和封装	45
3.1.2 集成门主要技术指标	48
3.1.3 常用集成逻辑门器件	50
3.2 半导体器件的开关特性	51
3.2.1 双极型三极管的开关特性	51
3.2.2 场效应管的开关特性	53
3.3 TTL 系列集成门内部电路及 电气特性	55
3.3.1 TTL 与非门的内部结构及 工作原理	55
3.3.2 电压传输特性和噪声容限	57
3.3.3 输入和输出特性及扇出数	58
3.3.4 TTL 与非门输入端负载特性	61
3.3.5 TTL 集电极开路门和 三态逻辑门	62
3.3.6 查找器件数据手册	64
3.4 三态门在微处理器总线中的作用	66
3.4.1 总线的定义和分类	67
3.4.2 总线的工作原理	68
3.5 CMOS 集成门电路	70
3.5.1 CMOS 逻辑电路及特点	71
3.5.2 CMOS 漏极开路门和 三态逻辑门	74
3.5.3 双极型-CMOS 集成电路	75
3.5.4 CMOS 传输门及传输门构成的 数据选择器	76
3.6 集成逻辑器件接口的三要素	77
3.6.1 TTL 与 CMOS 系列之间的 接口问题	77
3.6.2 逻辑门电路使用中的 几个实际问题	79

本章小结	81	6.2 Verilog HDL 与 C 语言	140
思考题与习题	81	6.3 Verilog 的数据类型	141
第 4 章 锁存器和触发器	86	6.3.1 常量	142
4.1 基本概念	86	6.3.2 变量	142
4.2 锁存器	87	6.4 Verilog 运算符及优先级	144
4.2.1 基本 RS 锁存器	87	6.4.1 运算符	144
4.2.2 时钟控制 RS 锁存器	89	6.4.2 运算符的优先级	146
4.2.3 时钟控制 D 锁存器	91	6.5 Verilog 模块的结构	146
4.2.4 锁存器在微处理器中的应用	92	6.6 Verilog 设计的层次与风格	149
4.3 触发器	95	6.6.1 Verilog 语言的设计风格	149
4.3.1 维持阻塞 D 触发器	95	6.6.2 自顶向下的设计方法	152
4.3.2 边沿 JK 触发器	99	6.6.3 层次化设计中模块的调用	153
本章小结	101	6.7 Verilog 行为语句	160
思考题与习题	101	6.7.1 赋值语句	160
第 5 章 可编程逻辑器件	106	6.7.2 条件语句	162
5.1 可编程逻辑器件的发展历程及趋势	106	6.7.3 循环语句	165
5.2 可编程逻辑器件的分类	109	6.7.4 块语句	166
5.3 低密度 PLD 结构	110	6.8 Verilog 有限状态机设计	166
5.3.1 PLD 的逻辑符号及连线		6.8.1 有限状态机概念简介	166
表示方法	111	6.8.2 有限状态机设计的一般原则和	
5.3.2 PLD 的基本结构	112	步骤	168
5.3.3 通用阵列逻辑器件 GAL	114	本章小结	172
5.4 复杂可编程逻辑器件 CPLD	119	思考题与习题	173
5.4.1 CPLD 的结构框架	119	第 7 章 组合逻辑电路与器件	174
5.4.2 在系统可编程器件 EPM7128S 的		7.1 组合逻辑电路基本概念和器件符号	174
内部结构	120	7.1.1 组合逻辑电路基本概念	174
5.4.3 EPM7128S 的特点	124	7.1.2 中规模逻辑器件的符号	175
5.4.4 EPM7128S 的最小系统	125	7.2 译码器和编码器	176
5.5 现场可编程逻辑阵列 FPGA	125	7.2.1 地址译码器	176
5.5.1 FPGA 的结构框架	126	7.2.2 地址译码器的扩展应用	178
5.5.2 Spartan-3E FPGA 的基本结构	127	7.2.3 计算机 I/O 接口及地址	
5.5.3 Xilinx FPGA 设计流程	131	译码技术	179
5.5.4 Xilinx Spartan-3E FPGA		7.2.4 数码管和 BCD—七段	
最小系统	134	显示译码器	184
5.5.5 CPLD 与 FPGA 的区别	135	7.2.5 编码器	188
本章小结	137	7.2.6 译码器和编码器的	
思考题与习题	137	Verilog 实现	190
第 6 章 Verilog 硬件描述语言	139	7.3 多路选择器	191
6.1 硬件描述语言简介	139	7.3.1 MUX 功能描述	191
		7.3.2 MUX 的扩展和应用	192
		7.4 加法器和比较器	194
		7.4.1 一位二进制加法器	194

7.4.2 单级和多级先行进位加法器	195	9.4.2 用 555 定时器构成的施密特触发器	254
7.4.3 数值比较器	198	9.4.3 用 555 定时器构成的单稳态触发器	255
7.4.4 加法器、比较器的 Verilog 描述	200	9.4.4 用 555 定时器构成的多谐振荡器	256
7.5 算术/逻辑运算单元(ALU)	201	9.5 综合应用举例	257
7.5.1 芯片级 ALU	201	本章小结	258
7.5.2 ALU 的 Verilog 描述	203	思考题与习题	259
本章小结	204		
思考题与习题	204		
第 8 章 时序逻辑电路与器件	207	第 10 章 半导体存储器	265
8.1 时序电路的结构、分类和描述方式	207	10.1 存储器基本概念	265
8.2 基于触发器的时序逻辑电路的分析和设计	209	10.1.1 存储器分类	265
8.2.1 触发器构成的时序逻辑电路分析	209	10.1.2 存储器的性能指标	268
8.2.2 触发器构成的时序逻辑电路设计	212	10.2 随机存取存储器	268
8.3 集成计数器	215	10.2.1 RAM 的基本结构	268
8.3.1 异步集成计数器	216	10.2.2 SRAM 的存储单元	270
8.3.2 同步集成计数器	218	10.2.3 DRAM 的存储单元	271
8.3.3 集成计数器扩展与应用	220	10.2.4 双端口 RAM	272
8.4 寄存器	224	10.3 只读存储器	273
8.4.1 寄存器及其应用	224	10.3.1 ROM 的基本结构	273
8.4.2 移位寄存器	226	10.3.2 各种传统 ROM 的存储单元	274
本章小结	231	10.3.3 Flash ROM	277
思考题与习题	231	10.4 集成存储器芯片	280
		10.4.1 传统 RAM 和 ROM 集成存储器	280
		10.4.2 NOR 和 NAND 型集成 Flash 存储器及相关接口	283
第 9 章 脉冲产生与整形	236	10.5 存储器容量的扩展	291
9.1 集成施密特触发器	236	10.5.1 位扩展	292
9.1.1 传输特性、符号和常见型号	236	10.5.2 字扩展	292
9.1.2 施密特触发器应用举例	237	10.6 集成存储器与处理器接口	294
9.2 集成单稳态触发器	240	10.6.1 存储器与微处理器接口需要注意的问题	294
9.2.1 TTL 集成单稳态触发器	240	10.6.2 存储器的编址	295
9.2.2 CMOS 集成单稳态触发器	242	10.6.3 存储器与 MCS-51 单片机的连接举例	295
9.2.3 单稳态触发器的应用举例	244	本章小结	296
9.3 多谐振荡器	245	思考题与习题	297
9.3.1 集成门电路构成的多谐振荡器	245		
9.3.2 石英晶体振荡器原理	246		
9.3.3 石英晶体振荡器在微处理器中的应用	251		
9.4 555 定时器及其应用	252	第 11 章 数/模和模/数转换	300
9.4.1 555 定时器工作原理	252	11.1 数/模转换器	300
		11.1.1 转换原理	300

11.1.2	D/A 转换的结构框架	301	本章小结	331
11.1.3	D/A 转换常用转换技术	301	思考题与习题	332
11.1.4	DAC 的特性参数	305		
11.1.5	集成 DAC	306	附录	336
11.1.6	DAC 应用及 FPGA 控制实例	309	附录 1 常用逻辑门电路逻辑符号	336
11.2	模/数转换器	311	附录 2 基于有限状态机的数码管动态显示和 简易时钟 Verilog 程序	337
11.2.1	A/D 转换的一般过程	312		
11.2.2	A/D 转换常用转换技术	315	参考文献和相关网站	344
11.2.3	ADC 的特性参数	325		
11.2.4	集成 ADC	325		
11.2.5	FPGA 控制 AD7476 转换的 Verilog 描述	328		

第 1 章

计算机发展及数字电子技术基本概念

计算机是一个典型的数字系统，它的发展史印证着数字电子技术的进步。本章首先简要介绍计算机的发展和微处理器的概念；然后介绍数字电路中二进制的产生，数字电路的分类及基本单元，模拟信号、数字信号及时钟脉冲信号技术指标等内容。

1.1 计算机的发展

计算机是新技术革命的一支主力，也是推动社会向现代化迈进的活跃因素。现代计算机是一种按程序自动进行信息处理的通用工具。利用计算机解决科学计算、工程设计、经营管理、过程控制或人工智能等各种问题的方法，都是按照一定的程序进行的。这种程序指出怎样以给定的输入信息经过有限的步骤产生所需要的输出信息。

远古时代人们使用石头、手指、结绳等作为计算工具。公元前 5 世纪，中国人发明了算盘，广泛应用于商业贸易中，被认为是最早的计算机，并一直使用至今；欧洲人利用“格子乘法”原理制成计算尺。这些计算工具都可以看成是计算机发展的雏形。

计算机技术的发展经历了三个阶段：机械式计算机、机电式计算机和电子计算机。早在 17 世纪的欧洲，一批数学家就已经开始设计和制造以数字形式进行基本运算的数字计算机。1623 年，德国科学家契克卡德(Schickard)制造出世界已知的第一部机械式计算机，能够进行六位数加减乘除运算。1642 年，法国数学家帕斯卡为了减轻父亲税务计算的痛苦，采用与钟表类似的齿轮传动装置，制成了最早的滚轮式十进制加法器。1678 年，德国数学家莱布尼兹在帕斯卡加法器基础上制成解决十进制数乘、除运算的计算机，并提出了“二进制数”的概念。1822 年，巴贝奇完成了第一台差分机，它可以把函数表的复杂算式转化为差分运算，用简单的加法代替平方运算。他于 1834 年设计了一种程序控制的通用分析机，虽然这台机器已经描绘出有关程序控制方式计算机的雏形，但是由于当时的技术等原因未能研制出实物。美国人 Herman Hollerith(1860—1929)根据提花织布机的原理发明了穿孔片计算机，并带入商业领域。

19 世纪以后，各个科学领域和技术部门的计算困难堆积如山，严重阻碍了科学技术的发展。特别是第二次世界大战爆发前后，军事科学技术对高速计算工具的需要尤为迫切。在此期间，德国、美国、英国都在进行计算机的研制工作，并几乎同时开始了机电式计算机和电子计算机的研究。

1. 第一代：真空电子管计算机(1946年~1958年)

1946年2月14日，标志现代计算机诞生的ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer)在费城公诸于世。最初ENIAC专门用于火炮弹道的计算，后经多次改进而成为能够进行各种科学计算的通用电子计算机。从1946年2月交付使用，到1955年10月最后切断电源，ENIAC服役长达9年。这台完全采用电子线路执行算术运算、逻辑运算和信息存储的计算机，运算速度比早期的继电器计算机快1000倍。这就是人们常常提到的世界上第一台通用电子计算机。

ENIAC代表了计算机发展史上的里程碑。它是由美国政府和宾夕法尼亚大学合作开发的，占地面积为170平方米，总重量达30吨，价格为40多万美元，每秒可以进行5000次加减运算，使用了18000个真空电子管，70000个电阻器，有5百万个焊接点，耗电160千瓦，是一个昂贵耗电的“庞然大物”。

1946年6月，冯·诺依曼博士发表了《电子计算机装置逻辑结构初探》一文，同年7~8月间，他又在莫尔学院为美国和英国20多个机构的专家讲授了专门课程——“电子计算机设计的理论和技术”，推动了存储程序式计算机的设计与制造；随后设计出第一台“存储程序”的离散变量自动电子计算机，1952年正式投入运行，其运算速度是ENIAC的240倍。

第一代计算机的特点是操作指令是为特定任务而编制的，每种机器有各自不同的机器语言，功能受到限制，速度也慢。

2. 第二代：晶体管计算机(1959年~1963年)

1948年，晶体管的发明大大促进了计算机的发展，晶体管代替了体积庞大的电子管，电子设备的体积不断减小。1956年，晶体管在计算机中使用，晶体管和磁芯存储器促使了第二代计算机的产生。第二代计算机体积小、速度快、功耗低、性能更稳定。首先使用晶体管技术的是早期的超级计算机，主要用于原子科学的大量数据处理，这些机器价格昂贵，生产数量极少。

1960年，出现了一些成功地用在商业领域、大学和政府部门的第二代计算机。第二代计算机用晶体管代替电子管，还具有现代计算机的一些部件：打印机、磁带、磁盘、内存、操作系统等。计算机中存储的程序使得计算机有很好的适应性，可以更有效地用于商业用途。在这一时期出现了COBOL、FORTRAN等高级语言，以单词、语句和数学公式代替了含混晦涩的二进制机器码，使计算机编程更容易。新的职业(程序员、分析员和计算机系统专家)和整个软件产业由此诞生。

3. 第三代：集成电路计算机(1964年~至今)

虽然晶体管比起电子管是一个明显的进步，但是晶体管会产生大量的热量，这会损害计算机内部的敏感部分。1958年，美国德州仪器的工程师Jack Kilby发明了集成电路(IC)，将三种电子元件结合到一片小小的硅片上。科学家使更多的元件集成到单一的半导体芯片上，于是，计算机变得更小，功耗更低，速度更快。这一时期的发展还包括使用了操作系统，使得计算机在中心程序的控制协调下可以同时运行许多不同的程序。

出现集成电路后，唯一的发展方向是扩大规模。大规模集成电路(LSI)可以在一个芯片上容纳几百个元件。到了20世纪80年代，超大规模集成电路(VLSI)在芯片上容纳了几十万个元件，后来的甚大规模集成电路(ULSI)将数字扩充到百万级，可以将如此数量的

元件集成在硬币大小的芯片上。集成电路使得计算机的体积和价格不断下降，而功能和可靠性不断增强。

20世纪70年代中期，计算机制造商开始将计算机带给普通消费者，这时的小型机带有界面友好的软件包和供非专业人员使用的程序，其中包括最受欢迎的文字处理和电子表格程序。这一领域的先锋有 Commodore、Radio Shack 和 Apple Computers 等。

1981年，IBM 推出个人计算机(PC)以用于家庭、办公室和学校。20世纪80年代起，由于激烈的市场竞争，使得个人计算机的价格不断下跌、拥有量不断增加、体积不断缩小(从桌上到膝上再到掌上)。与 IBM PC 竞争的 Apple Macintosh 系列于1984年推出，Macintosh 提供了友好的图形界面，用户可以用鼠标方便地进行操作。

进入集成电路计算机发展时期以后，在计算机中形成了相当规模的软件子系统，高级语言种类进一步增加，操作系统日趋完善，具备批量处理、分时处理、实时处理等多种功能。数据库管理系统、通信处理程序、网络软件等也不断增添到软件子系统中。软件子系统的功能不断增强，明显地改变了计算机的使用属性，使用效率显著提高。

在现代计算机中，外围设备的价值一般已超过计算机硬件子系统的一半以上。外围设备包括辅助存储器和输入输出设备两大类。

4. 第四代：量子、光子、生物等未来计算机

计算机从真空管、晶体管、集成电路、超大规模集成电路，一直是沿着“电子”计算机的道路行走，虽然计算机芯片的集成度越来越高，开关元件尺寸越做越小，然而由于量子效应的存在，现在集成电路技术正逼近其极限(0.2 nm 的工艺)。因此，量子计算机、光子计算机、生物计算机已为大家所日臻熟知。

1) 量子计算机

进入20世纪90年代，理论模型和实验技术的进步为量子计算机的实现提供了可能。尤其值得一提的是，1994年美国贝尔实验室的 Peter W. Shor 证明运用量子计算机竟然能有效地进行大数的因式分解，这意味着以大数因式分解算法为依据的电子银行、网络等领域的 RSA 公开密钥密码体系在量子计算机面前不堪一击。于是各国政府纷纷投入大量的资金和科研力量进行量子计算机的研究，如今这一领域已经形成一门新型学科——量子信息学。

量子计算机具有特大威力的根本原因在于构成量子计算机的基本单元——量子比特(q-bit)，它具有奇妙的性质，而这种性质必须用量子力学来解释，因此称为量子特性。我们现在所使用的计算机采用二进制来进行数据的存储和运算，在任何一个时刻一个存储器位可以表示0或1两种状态。而一个量子存储器位在某一时刻却可以表示8种不同状态。所谓“量子并行计算”的性质正是量子计算机巨大威力的奥秘所在。例如 Shor 提出的大数因式分解算法。按照 Shor 算法，对一个1000位的数进行因式分解只需几分之一秒，同样的事情由目前最快的计算机来做，则需 10^{25} 年！然而到目前为止，真正的量子计算机只做到5个q-bit，只能做很简单的验证性实验，但是我们有理由期待它的光明前景。

2) 光子计算机

1990年初，美国贝尔实验室制成世界上第一台光子计算机。现有的计算机是由电子来传递和处理信息的。电子在导线中传播的速度虽然比人们看到的任何运载工具运动的速度都快，但是，从发展高速率计算机的角度来说，电子对计算机运算速度的提高已经愈发乏

力,采用电子做运输信息的载体已经不能满足“快”的要求了。而光子计算机以光子作为传递信息的载体,以光互连代替导线互连,以光硬件代替电子硬件,以光运算代替电运算,利用激光来传送信号,并由光导纤维与各种光学元件等构成集成光路,从而进行数据运算、传输和存储。在光子计算机中,不同波长、频率、偏振态及相位的光代表不同的数据,这远胜于电子计算机中通过电子“0”“1”状态变化进行的二进制运算,可以对复杂度高、计算量大的任务实现快速的并行处理。光子计算机将使运算速度在目前的基础上呈指数上升。

由于光子比电子速度快,光子计算机的运行速度可高达一万亿次每秒。它的存储量是现代计算机的几万倍,还可以对语言、图形和手势进行识别与合成。

光子计算机与电子计算机相比,主要具有以下优点:

(1) 超高速的运算速度。光子计算机并行处理能力强,因而具有更高的运算速度。同时,电子的传播速度是 593 km/s ,而光子的传播速度却达 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$,光子计算机的运行速度要比电子计算机快得多,对环境条件的要求也比电子计算机低得多。

(2) 超大规模的信息存储容量。与电子计算机相比,光子计算机具有超大规模的信息存储容量。光子计算机具有极为理想的光辐射源——激光器,光子的传导可以不需要导线,而且即使在相交的情况下,它们之间也不会产生丝毫的相互影响。

(3) 能量消耗小,散发热量低,是一种节能型产品。驱动光子计算机,只需要同类规格的电子计算机驱动能量的一小部分,这不仅降低了电能消耗,大大减少了机器散发的热量,还为光子计算机的微型化和便携化研制提供了便利的条件。

目前,光子计算机的许多关键技术,如光存储技术、光互连技术、光电子集成电路等都已经获得突破,大幅度地提高光子计算机的运算能力是当前科研工作面临的攻关课题。光子计算机的问世和进一步研制、完善,将为人类跨向更加美好的明天,提供无穷的力量。

3) 生物计算机

生物计算机即脱氧核糖核酸(DNA)分子计算机,主要由生物工程技术产生的蛋白质分子组成的生物芯片构成,通过控制DNA分子间的生化反应来完成运算。运算过程就是蛋白质分子与周围物理化学介质相互作用的过程,其转换开关由酶来充当,而程序则在酶合成系统本身和蛋白质的结构中明显表示出来。20世纪70年代,人们发现DNA处于不同状态时可以代表信息的有或无。DNA分子中的遗传密码相当于存储的数据,DNA分子间通过生化反应,从一种基因代码转变为另一种基因代码。反应前的基因代码相当于输入数据,反应后的基因代码相当于输出数据。只要能控制这一反应过程,就可以制成DNA计算机。

生物计算机以蛋白质分子构成的生物芯片作为集成电路。蛋白质分子比电子元件小很多,可以小到几十亿分之一米,而且生物芯片本身具有天然独特的立体化结构,其密度要比平面型的硅集成电路高五个数量级。生物计算机芯片本身还具有并行处理的功能,其运算速度要比当今最新一代的计算机快10万倍,能量消耗仅相当于普通计算机的十亿分之一。生物芯片一旦出现故障,可以进行自我修复,具有自愈能力。生物计算机具有生物活性,能够和人体的组织有机地结合起来,尤其是能够与大脑和神经系统相连。这样,植入人体的生物计算机就可直接接受大脑的综合指挥,成为人脑的辅助装置或扩充部分,并能

由人体细胞吸收营养补充能量，成为帮助人类学习、思考、创造和发明最理想的伙伴。

生物计算机主要具有以下优点：

(1) 体积小，功效高。在一平方毫米的面积上，可容纳几亿个电路，比目前的集成电路小得多，用它制成的计算机，已经不像现在计算机的形状了，可以隐藏在桌角、墙壁或地板等地方。

(2) 当它的内部芯片出现故障时，不需要人工修理，能自我修复。所以，生物计算机具有永久性和很高的可靠性。

(3) 生物计算机的元件是由有机分子组成的生物化学元件，它们是利用化学反应工作的，所以，只需要很少的能量就可以工作了。因此，它们不会像电子计算机那样，工作一段时间后机体会发热。

(4) 生物计算机的电路间没有信号干扰。

1.2 微处理器、微控制器及嵌入式处理器

计算机的核心是微处理器(MicroProcessor 或 MicroProcessor Unit, μ P 或 MPU)芯片，但是为了适合实时控制的需要，各 IC 厂家推出了微控制器(Micro Controller Unit, MCU)、数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)以及基于嵌入式处理器的各种类型的处理器芯片。从广义上讲，微处理器(MPU)、微控制器(MCU, 包括 DSP)、嵌入式处理器(如 ARM)等都叫微处理器或嵌入式处理器(嵌入到数字系统)。但严格讲，概念有所不同。

1. 微处理器

微处理器是一个功能强大的中央处理单元(Central Processing Unit, CPU)，其内部主要包括算术运算单元和控制单元(ALU 和 CU)。这种芯片往往是个人计算机和高端工作站的核心 CPU。最常见的微处理器是 Motorola 的 68K 系列和 Intel 的 X86 系列。“微型计算机原理”课程中就是以 Intel 的 80x86 CPU 为例，来介绍微处理器的结构、指令系统、接口及应用的。

微处理器片内普遍没有用户使用的存储器、定时器和常用接口。因此，微处理器在电路板上必须外扩存储器、总线接口及常用外设接口及器件，从而降低了系统的可靠性。比如，“微型计算机原理”学习的 Intel8088/8086CPU，使用时需要 244/245/373 构成总线，外加 Intel8087 浮点运算协处理器、并行可编程接口芯片 8255A、计数/定时器 8253/8254、DMA 控制器 8237、中断控制器 8259A、串行通信接口 8250/8251 等芯片，构成早期的 PC 计算机 IBM - XT/AT 的主板系统。微处理器的功耗普遍较大，如 Intel 的 CPU 多在 20~100W。

2. 微控制器

有一类处理器芯片，其内部集成了大量适合于实时控制的接口电路，这类处理器片内除具有通用 CPU 所具有的 ALU 和 CU，还集成有存储器(RAM/ROM)、计数器、定时器、各种通信接口、中断控制、总线、A/D 和 D/A 转换器等适合控制的功能模块，是将 CPU 及相关数字接口集成到一片芯片中，这类处理器称为单片机(Single Chip Computer)或微

控制器。目前使用最多的是 51 系列单片机。还有一种结构更加复杂的高性能单片机,其内部采用多总线结构(数据和程序有各自的总线),指令执行使用多级流水线结构(多条指令同时运行在不同阶段)、片内集成有硬件乘法器、具有更加适合进行数字信号处理的特殊指令等,因此,称为数字信号处理器。最常见的数字信号处理器有 TI 公司的 TMS320 系列, Motorola 公司的 MC56 和 MC96 系列, AD 公司的 ADSP21 系列等。

微控制器与微处理器相比,其最大的优点是将适合实时控制的一些接口和微处理器一起单片化,体积大大减小,从而使功耗和成本下降,可靠性提高。

3. 嵌入式处理器

狭义上讲,嵌入式处理器是一种处理器的 IP 核(Intellectual Property Core)。开发公司开发出处理器结构后向其他芯片厂商授权制造,芯片厂商可以根据自己的需要进行结构与功能的调整。嵌入式处理器的主要产品有: ARM(Advanced RISC Machines)公司的 ARM、Silicon Graphics 公司的 MIPS、IBM 和 Motorola 联合开发的 PowerPC、Intel 的 X86 和 i960 芯片、AMD 的 Am386EM、Hitachi 的 SH RISC 芯片等。

嵌入式处理器的主要设计者是 ARM 公司,它本身不生产芯片,靠转让设计许可,由合作伙伴公司来生产各具特色的芯片。ARM 公司在全世界范围的合作伙伴超过 100 个,其中包括 TI、Xilinx、Samsung、Philips、ATMEL、Motorola、INTEL(典型芯片有 StrongARM 和 XScale)等许多著名的半导体公司。ARM 公司专注于设计,设计的处理器内核耗电少,成本低,功能强,含有 16/32 位的 RISC(Reduced Instruction Set Computing, 精简指令集计算机处理器)。采用 ARM 技术的微处理器遍及各类电子产品,在汽车电子、消费娱乐、成像、工业控制、网络、移动通信、手持计算、多媒体数字消费、存储安保和无线等领域无处不在。

狭义上的嵌入式系统,是指使用嵌入式微处理器构成的独立系统,具有自己的操作系统并且具有某些特定功能的系统,这里的微处理器专指 32 位以上的微处理器。

所有处理器的学习和应用的基础是数字电子技术。

1.3 数字电子技术基本概念

1.3.1 数字世界是 0 和 1 的世界

上述的第二代、第三代计算机的基础就是用电子开关的开和关分别表示“0”和“1”。难道复杂而又多样的种种事物都可以用简单的 0 和 1 表示吗?就算是表示出来又通过何种方式进行运算或处理得到想要的结果呢?这些问题由乔治·布尔回答了。他是 19 世纪英国逻辑学家,他将人类的逻辑思维简化为一些数学运算,还发明了一种语言用于描写与处理各种逻辑命题和确定其真假与否,这种语言被称做逻辑代数。将布尔代数引入计算机科学领域的是克劳德·香农,他创立了信息论,并在其中定义了称为“二进制位”的信息度量。采用二进制主要基于以下原因:

(1) 技术实现简单。数字系统由逻辑电路组成,逻辑电路的最底层是电子开关,开关的接通与断开状态,正好可以用“1”和“0”表示。虽然大家熟知十进制数,但目前为止没有一个类似十个手指的电子器件。

(2) 简化运算规则。两个二进制数的和、积运算组合各有三种(求和法则 3 个: $0+0=0$, $0+1=1+0=1$, $1+1=10$, 逢二进一, 因此为二进制数; 求积法则 3 个: $0\times 0=0$, $0\times 1=1\times 0=0$, $1\times 1=1$), 运算规则简单, 有利于简化计算机内部结构, 提高运算速度。

(3) 适合逻辑运算。逻辑代数是逻辑运算的理论依据, 二进制只有两个数码, 正好与布尔代数中的“真”和“假”相吻合。

(4) 具有抗干扰能力强、可靠性高等优点。

如何将我们想要表达的问题转化为 0、1 代码, 不同的问题经过不同人的处理会有不同的逻辑表示, 这就需要约定一个编码原则。这里最本质的概念是信息, 哲学家格雷戈里·贝特森将信息定义为“生异之异(the difference that makes a difference)”。换句话说, 信息是一种差异性、可能性, 同时它又有影响其他信息的能力, 这样看来, 信息是完全可以用二进制位来表示的。例如, 当你和别人谈话时, 说的每个字都是字典中所有字中的一个。如果将字典中所有的字从 1 开始编号, 就可能精确地使用数字进行交谈, 而不使用汉字。当然, 对话的两个人都需要一本已经给每个字编过号的字典以及足够的耐心, 就像电视剧《潜伏》中的密电码一样。人与计算机的交谈也是这个道理。

1.3.2 模拟信号和数字信号

模拟信号分布于自然界的各个角落。电学上的模拟信号主要是指幅度和相位都连续的电信号, 此信号可以被模拟电路进行各种运算, 如放大、相加、相乘等。图 1.3.1(a)所示为一模拟信号。

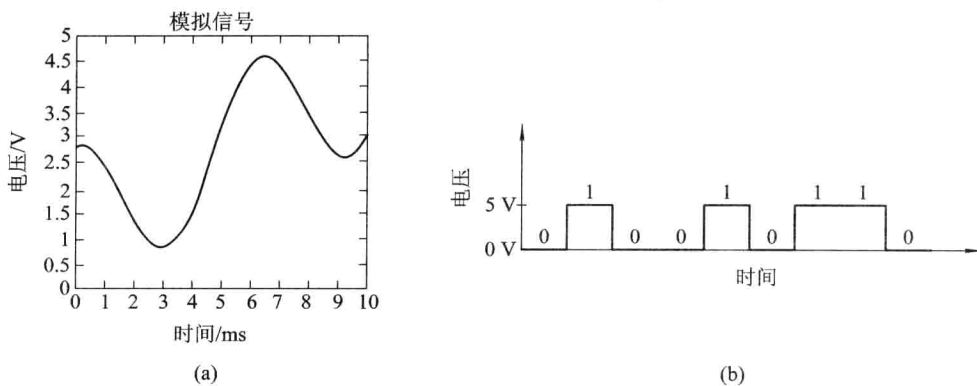


图 1.3.1 典型的数字信号时序图

(a) 模拟信号; (b) 数字信号

所谓数字信号, 是指时间上及数值上都是离散的(不连续的)信号。一方面, 它们的变化在时间上是不连续的, 总是发生在一系列的瞬时(采样或开关的通、断); 另一方面, 它们的数值大小和增减变化, 都是不连续的数值。图 1.3.1(b)所示为典型的数字信号时序图(数字信号电压与时间的关系图)。数字信号在不同时间点上变为高电平或者低电平。

高、低两个电平可以分别由 0、1 表示, 这样就有两种表示方式: 若规定高电平为逻辑 1, 低电平为逻辑 0, 则为正逻辑; 反之, 若规定高电平表示逻辑 0, 低电平表示逻辑 1, 则为负逻辑。图 1.3.1(b)所示采用了正逻辑。在数字逻辑电路中, 理想的逻辑 1 定义为器件的电源电压, 称为“强 1”; 逻辑 0 定义为 0 V, 称为“强 0”。在实际应用中, 由于温度变化、

电源电压波动、干扰及元件特性变化等因素的影响,不能如此精确地定义逻辑 0 和逻辑 1,而是定义两个电压范围来分别表示逻辑 0 和逻辑 1。如图 1.3.2 所示,高、低中间存在一个不确定区域,这个区域非高也非低,这是说明数字信号数值上不连续的其中一个含义。不同逻辑器件的逻辑 0 和逻辑 1 的电压范围各不相同。

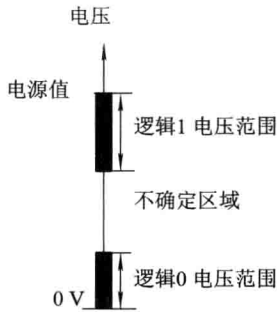


图 1.3.2 正逻辑的逻辑 0 和 1

对于同一电路,可用正逻辑表示,也可用负逻辑表示。不过,选用的逻辑体制不同,电路的逻辑功能也将不同。因此,在同一系统中,只能采用一种逻辑体制。若无特别说明,一般采用正逻辑体制。

将一个模拟信号转换为数字信号,一般由模/数转换器(ADC)完成。假如将模拟信号转换为 8 位的数字信号。图 1.3.3 表示了三个数据采样点转换为 8 位二进制数字的对应关系,第三个采样点的模拟值接近 5 V,因此其转换为二进制的数值也比较大,为二进制的 11111101。使用 8 位二进制数表示模拟信号,只能由 0~255 共 $256(2^8)$ 个整数之一表示某模拟值。因此,这是说明数字信号在数值上是不连续的另一含义。显然,使用的 ADC 二进制位数越多,越能精确地表示原始的模拟信号,转换误差越小。

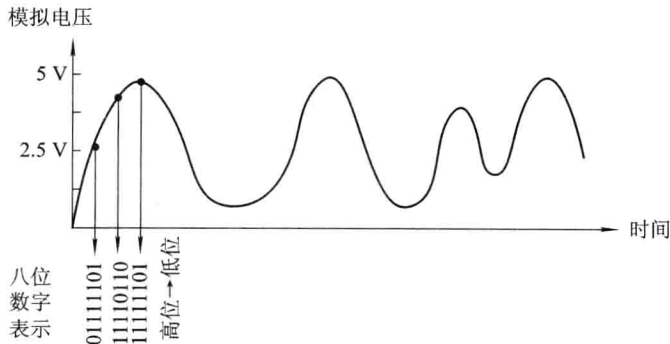


图 1.3.3 模拟信号的二进制数字表示

模拟信号与数字信号的优、缺点主要表现在如下几点:

(1) 模拟信号的主要优点: ① 精确的分辨率,在理想情况下,它具有无穷大的分辨率,与数字信号相比,模拟信号的信息密度更高; ② 由于不存在量化误差,它可以对自然界物理量的真实值进行尽可能逼近的描述; ③ 模拟信号处理比数字信号处理更简单,模拟信号的处理可以直接通过模拟电路组件(例如运算放大器等)实现,而数字信号处理往往涉及复杂的算法,甚至需要专门的数字信号处理器。