



21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国应用型本科

电子通信系列 实用规划教材



数字电子技术

主 编 梅开乡 郭 颖
副主编 刘东汉 梅军进
主 审 殷瑞祥



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书按“逻辑器件介绍、数字线路分析、数字系统应用”的思路来编排课程内容体系,以 CMOS、BI-CMOS 集成器件的应用为主线,系统地介绍了组合逻辑电路、时序逻辑电路的分析方法和设计方法。特别介绍了运用 GAL、FPGA 等现代数字逻辑器件构成复杂数字系统的设计方法。主要内容有数字逻辑基础、集成门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器和可编程逻辑器件、脉冲产生和整形电路、D/A 和 A/D 转换器。附录中有方便学生实践训练的“常用数字集成电路引脚排列图”、“主要技术参数”和“VHDL 简介”等。各章有“教学提示”、“教学要求”、“本章小结”、“应用实例”,并配有难易程度和数量适当的思考题与习题,便于读者自学,学用结合。

本书可作为高等院校应用型本科电子信息、通信、计算机科学与技术、电气、自动化、机电工程及相关专业的“数字电子技术”、“数字逻辑电路”课程的教材,也可供电子技术的有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/梅开乡,郭颖主编. —北京:北京大学出版社,2008.1

(21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-11504-6

I. 数… II. ①梅… ②郭… III. 数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 057952 号

书 名: 数字电子技术

著作责任者: 梅开乡 郭 颖 主编

策 划 编 辑: 徐 凡

责 任 编 辑: 李娉婷

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-11504-6/TN · 0043

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京大学印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23.25 印张 534 千字

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

丛书总序

随着招生规模迅速扩大,我国高等教育已经从“精英教育”转化为“大众教育”,全面素质教育必须在教育模式、教学手段等各个环节进行深入改革,以适应大众化教育的新形势。面对社会对高等教育人才的需求结构变化,自20世纪90年代以来,全国范围内出现了一大批以培养应用型人才为主要目标的应用型本科院校,很大程度上弥补了我国高等教育人才培养规格单一的缺陷。

但是,作为教学体系中重要信息载体的教材建设并没有能够及时跟上高等学校人才培养规格目标的变化,相当长一段时间以来,应用型本科院校仍只能借用长期存在的精英教育模式下研究型教学所使用的教材体系,出现了人才培养目标与教材体系的不协调,影响着应用型本科院校人才培养的质量,因此,认真研究应用型本科教育教学的特点,建立适合其发展需要的教材新体系越来越成为摆在广大应用型本科院校教师面前的迫切任务。

2005年4月北京大学出版社在南京工程学院组织召开《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》编写研讨会,会议邀请了全国知名学科专家、工业企业工程技术人员和部分应用型本科院校骨干教师共70余人,研究制定电子信息类应用型本科专业基础课程和主干专业课程体系,并遴选了各教材的编写组成人员,落实制定教材编写大纲。

2005年8月在北京召开了《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》审纲会,广泛征求了用人单位对应用型本科毕业生知识能力需求和应用型本科院校教学一线教师的意见,对各本教材主编提出的编写大纲进行了认真细致的审核和修改,在会上确定了32本教材的编写大纲,为这套系列教材的质量奠定了基础。

经过各位主编、副主编和参编教师的努力,在北京大学出版社和各参编学校领导的关心和支持下,经过北大出版社编辑们的辛苦工作,我们这套系列教材终于在2006年与读者见面了。

《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》涵盖了电子信息、通信等专业的基础课程和主干专业课程,同时还包括其他非电类专业的电工电子基础课程。

电工电子与信息技术越来越渗透到社会的各行各业,知识和技术更新迅速,要求应用型本科院校在人才培养过程中,必须紧密结合现行工业企业技术现状。因此,教材内容必须能够将技术的最新发展和当今应用状况及时反映进来。

参加系列教材编写的作者主要是来自全国各地应用型本科院校的第一线教师和部分工业企业工程技术人员,他们都具有多年从事应用型本科教学的经验,非常熟悉应用型本科教育教学的现状、目标,同时还熟悉工业企业的技术现状和人才知识能力需求。本系列教材明确定位于“应用型人才培养”目标,具有以下特点:

(1) **强调大基础:**针对应用型本科教学对象特点和电子信息学科知识结构,调整理顺了课程之间的关系,避免了内容的重复,将众多电子、电气类专业基础课程整合在一个统

一的大平台上，有利于教学过程的实施。

(2) **突出应用性：**教材内容编排上力求尽可能把科学技术发展的新成果吸收进来、把工业企业的实际应用情况反映到教材中，教材中的例题和习题尽量选用具有实际工程背景的问题，避免空洞。

(3) **坚持科学发展观：**教材内容组织从可持续发展的观念出发，根据课程特点，力求反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺。

(4) **教学资源齐全：**与纸质教材相配套，同时编制配套的电子教案、数字化素材、网络课程等多种媒体形式的教学资源，方便教师和学生的教学组织实施。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者，没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践，要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台，为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生，不吝指正，随时给我们提出宝贵的意见，以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006 年 4 月

前 言

在当今全世界范围内,已经形成了以计算机(computer)、通信(communication)和消费类电子(consumptive electron)三足鼎立发展的新格局——一个朝气蓬勃、如日中天的“3C”电子大时代已经到来。数字电路是上述“3C”领域中所有数字电子系统的硬件基础,而“3C”领域中的数字电子计算机、程控交换机及各种数字设备、系统,则是数字电子技术应用和发展的结晶。因此,学好数字电子技术,对于学好后续专业课程,涉足上述三大领域,把握住成功的明天,是至关重要的。根据 50 多所高校关于“电子信息与通信类应用型本科实用规划教材”南京研讨会确定的“面向就业,突出应用,注重能力的培养,内容与时俱进”的宗旨,在编写本书时,从我国大多数应用型本科院校的“数字电子技术”课程教学改革的具体情况出发,充分吸收省级教研项目“数字技术课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”(立项编号 2004 0298)中的研究成果,并充分考虑如下六点。

(1) 体现教学内容的先进性。改变以往教材以 TTL 集成电路为主的传统内容体系,转向以目前销售和使用占 80%以上份额的高速发展的 CMOS 集成电路为主, LSTTL 集成芯片为辅的教学内容体系。

(2) 紧扣数字电子技术最新发展方向和趋势。重点介绍“通用阵列逻辑器件(GAL)”、“现代可编程门阵列器件(FPGA)”等现代数字逻辑器件构成数字系统的内容,让学生就业本领“技高一筹”。因为许多由 CMOS、LSTTL、PLD、EPLD 芯片组成的复杂电路,可用 1 片 GAL 或 CPLD 芯片替代,不但印制板面积大大缩小,成本大大降低,而且系统的可靠性大大提高。

(3) 尽量缩小理论教学与实际应用之间的空间距离和过渡过程。注重“新技术、新器件、新工艺、新成果”的介绍。例如“BI-CMOS(双极型 CMOS 器件)”、“CPLD(复杂可编程逻辑器件)及其应用”、“数控稳压电源”、“数控关风器(专利产品)”、“智能节电开关”、节能产品中的“阳光自动检测与蓄电池欠压保护电路”等。

(4) 跟踪美国哈佛大学经典教材。Horowitz 著,吴利民译《电子学》(第 2 版)和 Tocci 著,林涛译《数字系统原理与应用》(第 9 版)中“器件、线路、系统”循序渐进的内容编排体系,启发式、设计式的诱导模式的讲授风格。正文中插图或照片 367 幅,表格 115 个,注重视觉效果和形象教学。

(5) 讲清概念规律,注重实践应用。在满足本课程教学大纲要求的同时,加强了实用性和实践性的内容。每章“器件、电路”的应用中都有若干实例,全书共列举 28 个典型应用实例。并且在附录中给出了“常用数字集成电路引脚排列图”,“主要技术参数”等,方便学生正确选用集成芯片进行数字系统的设计、制作,培养“动手能力、实践能力和可持续发展的能力”。

(6) 附录 E 中的“VHDL 简介”,为利用现代数字逻辑器件 GAL、FPGA 构成复杂的数字系统提供了现代设计方法、设计语言方面的支持。

数字电子技术是一门实践性很强的课程,是电类各专业的专业基础课,谁要想涉足上述三大领域,与时俱进,踏上风驰电掣的时代列车,把握住稍纵即逝的发展商机,就一定

要理论联系实际,学好数字电子技术。与本教材配套的辅导教材有《数字电子技术学习指导》,《数字电子技术试题库(光盘)》等。本教材配备有电子教案,方便老师教学。书中标有“*”号为选学内容,教师可根据不同专业的教学要求予以取舍。

本书第1章和附录E由黄石理工学院梅军进编写;第2、4、5章及第3章的3.3.3~3.6节,第7章的7.5节由黄石理工学院梅开乡编写;第3章的3.1~3.3.2节由聊城大学杨少卿编写;第6章由临沂师范学院陈佩江编写;第7章的7.1~7.4节由吉林农业大学郭颖编写;第8章由黄石理工学院刘东汉编写;附录A~D由河南农业大学邹彩虹编写。全书由梅开乡统稿。

本书承蒙教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会委员、广东省高等学校电工电子技术研究会理事长、华南理工大学博导殷瑞祥教授在百忙之中,对本书的大纲、三级目录及教材内容等进行了详细的审阅,并提出了许多宝贵的指导性意见。在此,编者对殷瑞祥教授表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请各位专家、同行、读者批评指正。编者的电子邮件地址为 cims-hs2006@163.com。

(另附建议教学学时分配表,各教学班可根据学时多少予以调整)

编 者

2007年11月

附 建议教学学时分配表

章	内 容	授课(h)	实验(h)	建议实验(实训)项目
1	数字逻辑基础	6	0	(1) CMOS 集成门电路的逻辑功能与参数测试
2	集成门电路	8	2	* (2) LSTTL 集成门电路的逻辑功能与参数测试
3	组合逻辑电路	6	4	* (3) 集成逻辑电路的连接与驱动
4	触发器	6	2	(4) 组合逻辑电路的设计与测试
5	时序逻辑电路	10	4	* (5) 译码器及其应用
6	半导体存储器和可编程逻辑器件	12	2	(6) 数据选择器及其应用
7	脉冲产生和整形电路	6	2	(7) 触发器及其应用
8	D/A 和 A/D 转换器	4	2+综合 2	(8) 计数器及其应用
合 计		58	20	* (9) 移位寄存器及其应用
				(10) GAL16V8、EPM7128S 芯片的编程及应用设计
				(11) 555 时基电路及其应用
				(12) D/A 和 A/D 转换器及其应用
				(13) 智力竞赛抢答器
				* (14) 电子秒表

注:书中标有*记号的内容,教师可以根据不同专业的需求或学时的多少予以取舍。

序 言

随着科学技术的发展, 电子技术在各行各业和人民生活的各个方面应用越来越广泛, 已经成为人们生产生活不可缺少的一项重要技术, 它改变着我们的生活。20 世纪 80 年代以来, 由于数字集成电路和计算机技术的突飞猛进发展, 数字电子技术正扮演着越来越重要的角色。为了适应科学技术发展和满足生产实际的需求, 数字电子技术已经成为高等学校人才培养课程体系中的一门十分重要的技术基础课程, 是后续数字控制技术、单片机接口技术、嵌入式系统设计等专业课程必备的基础。

作为应用型本科高等学校, 主要目标是针对社会技术人才需求培养面向应用的实用型高级人才。这就要求在教学内容、教学手段和教学过程实施中始终贯穿应用性宗旨, 首先要求教材内容组织具有很好的应用性, 许多工作在应用型本科学校教学第一线的老师们在探索教材改革中做了大量的尝试, 也涌现了一批具有特色的优秀教材, 为我国应用型本科教学质量提高提供了保障。

梅开乡、郭颖老师主编的这套数字电子技术教材, 针对目前集成电路已经大量采用 CMOS 工艺(约占 90%)的特点, 改革了传统数字电子技术教材以 TTL 集成电路为主要内容的体系, 以 CMOS 电路为主线, 符合当今数字电子技术的发展方向。教材面对工业界越来越多采用的以可编程逻辑器件为主的数字系统, 加强了对这类新器件的应用介绍。教材突出了实用性, 注重新技术、新器件、新工艺、新成果介绍, 缩小理论教学与实际应用的距离, 编排了一定数量的应用实例, 把大学课程与工程实际联系起来。教材在内容编排体系上, 贯彻“器件—线路—系统”的循序渐进原则, 方便读者建立完整的知识体系。总之, 这套教材在先进性、实用性和易读性方面都进行了有益的尝试, 完全符合应用型本科教育教学的宗旨。

全书共分 8 章 5 个附录, 既保持了数字电子技术教学内容的系统性, 又突出了应用性, 附录收录了常用的标准、器件符号、典型芯片的外形和技术参数以及 VHDL 语言基础, 方便了学生学习和实验中参考。编者还为教材配套开发了电子教案, 为教师组织实施教学给与了帮助。

读完教材全稿, 感觉到其中融入了作者的教学经验, 处处以培养学生分析问题和解决问题能力、提高学生应用能力为目标, 力求启发学生思考、开拓视野。

感谢作者为我们奉献了一套新颖实用的数字电子技术课程教材, 希望这套教材能为应用型本科教学质量提高发挥作用。

殷瑞祥

2007 年 12 月 11 日

目 录

第 1 章 数字逻辑基础	1	2.2 CMOS 门电路	39
1.1 概述	1	2.2.1 CMOS 门电路的构成	40
1.1.1 数字信号、数字电路、 数字系统	1	2.2.2 CMOS 门电路的外部特性	48
1.1.2 数字电路的特点、分类及 其应用	2	2.2.3 4000 系列的 CMOS 集成 电路使用说明	55
1.2 数制与编码	3	2.2.4 高速、超高速 CMOS 电路	56
1.2.1 数制	3	2.3 双极型门电路	59
1.2.2 不同数制间的转换	4	2.3.1 LSTTL 与非、或非门电路	60
1.2.3 编码	6	2.3.2 LSTTL 门电路的外部特性	63
1.3 逻辑代数中的常用运算与逻辑函数 ..	10	*2.3.3 普通的 TTL 门电路和其他 类型的双极型集成门电路	68
1.3.1 逻辑代数的基本概念与 基本运算	10	2.4 BI-CMOS 门电路	72
1.3.2 复合逻辑运算	12	2.4.1 BI-CMOS 门电路	72
1.3.3 正逻辑与负逻辑	15	2.4.2 BI-CMOS 反相器的 外部特性	73
1.3.4 逻辑函数及其表示方法	16	2.5 集成门电路	74
1.4 逻辑代数中的基本公式、定理和 规则	19	2.5.1 集成门电路的使用常识	74
1.4.1 基本运算公式	19	2.5.2 TTL、CMOS 接口电路	75
1.4.2 逻辑代数中的基本规则	20	*2.5.3 集成门电路应用举例	79
1.4.3 逻辑函数的标准形式	21	2.6 本章小结	81
1.5 逻辑函数的化简	24	2.7 思考题与习题	82
1.5.1 逻辑函数的公式化简法	24	第 3 章 组合逻辑电路	87
1.5.2 逻辑函数的卡诺图化简法	26	3.1 概述	87
1.5.3 含有无关项的逻辑函数的 化简	30	3.1.1 组合逻辑电路的特点	87
1.6 基本门电路的应用举例	32	3.1.2 组合逻辑电路的分析方法	87
1.7 本章小结	34	3.1.3 组合逻辑电路的设计方法	90
1.8 思考题与习题	35	3.2 算术运算电路	92
第 2 章 集成门电路	38	3.2.1 半加器电路	92
2.1 概述	38	3.2.2 全加器电路	93
		3.2.3 集成算术/逻辑运算单元	93
		3.3 信号变换电路	95
		3.3.1 编码器	95
		3.3.2 译码器	97

3.3.3 数据选择器	101	4.6.2 触发器芯片 CC4013、 CC4042 与 CC4043 等的 应用举例	146
3.3.4 数据分配器	104	4.7 本章小结	150
3.4 数值比较器	105	4.8 思考题与习题	151
3.4.1 1 位数值比较器	105	第 5 章 时序逻辑电路	154
3.4.2 集成数值比较器	106	5.1 时序逻辑电路的分析和设计方法	154
3.5 组合逻辑电路中的竞争和冒险	108	5.1.1 时序逻辑电路概述	154
3.5.1 组合逻辑电路中的竞争、 冒险现象	108	5.1.2 时序逻辑电路的分析方法	155
3.5.2 冒险现象的识别	109	5.1.3 时序逻辑电路的设计方法	159
3.5.3 冒险现象的消除方法	110	5.2 同步计数器	164
3.6 组合逻辑电路应用举例	111	5.2.1 同步二进制计数器	165
3.7 本章小结	116	5.2.2 同步非二进制计数器	168
3.8 思考题与习题	116	5.2.3 集成同步计数器	172
第 4 章 触发器	120	5.3 异步计数器	176
4.1 概述	120	5.3.1 异步计数器分析	176
4.2 基本 RS 触发器	121	5.3.2 集成异步计数器	177
4.2.1 由“与非门”构成的 基本 RS 触发器	121	5.4 寄存器	180
4.2.2 基本 RS 触发器的逻辑 功能及特性方程	122	5.4.1 数据寄存器	180
4.2.3 由或非门构成的 RS 触发器	124	5.4.2 移位寄存器	183
4.3 同步触发器	125	5.4.3 锁存器	190
4.3.1 同步 RS 触发器	126	5.5 序列脉冲发生器、三态逻辑和 微机总线接口	191
4.3.2 同步 D 触发器	127	5.5.1 序列脉冲发生器	191
4.3.3 同步 JK 触发器	129	*5.5.2 三态逻辑和微机总线接口	194
4.3.4 集成同步 D 触发器	131	5.6 时序逻辑电路应用设计举例	199
4.4 主从触发器	134	5.7 本章小结	214
4.4.1 主从 RS 触发器	134	5.8 思考题与习题	215
4.4.2 主从 JK 触发器	136	第 6 章 半导体存储器和可编程 逻辑器件	218
4.4.3 集成主从触发器	138	6.1 半导体存储器	218
4.5 边沿触发器	140	6.1.1 半导体存储器的种类和 用途	218
4.5.1 集成边沿 D 触发器	140	6.1.2 ROM 容量扩展	222
4.5.2 集成边沿 JK 触发器	141	6.2 ROM 应用举例	223
4.5.3 维持阻塞 D 触发器	143	6.2.1 利用 ROM 实现组合 逻辑电路	223
4.6 集成触发器应用举例	144		
4.6.1 双 D 触发器芯片 CC4013 的应用举例	144		

6.2.2 ROM 实现数学函数表.....	224	7.4 施密特触发器.....	264
6.3 半导体存储器的使用方法.....	224	7.4.1 由 555 定时器构成的 施密特触发器.....	264
6.3.1 静态 RAM 的使用方法.....	224	7.4.2 由门电路构成的施密特 触发器.....	265
6.3.2 PROM 和 EPROM 的 使用方法	225	7.4.3 集成施密特触发器.....	266
6.4 可编程逻辑阵列	227	7.4.4 施密特触发器的应用	267
6.5 可编程阵列逻辑	228	7.5 555 定时器的应用举例.....	269
6.5.1 PAL 的基本结构	228	7.6 本章小结	273
6.5.2 PAL 的输出和反馈结构	229	7.7 思考题与习题.....	274
6.5.3 PAL 的应用举例	232	第 8 章 D/A 和 A/D 转换器	277
6.6 通用阵列逻辑	234	8.1 概述	277
6.6.1 GAL 的电路结构	234	8.1.1 D/A 和 A/D 转换器	278
6.6.2 GAL 器件的分类及特点.....	240	*8.1.2 DAC 的主要性能指标	278
6.6.3 PLD 器件的优点及 开发应用	241	*8.1.3 ADC 的主要性能指标	279
6.7 现场可编程门阵列(FPGA).....	244	8.2 数/模转换器	281
6.7.1 FPGA 的基本结构	244	8.2.1 D/A 转换的基本原理	281
6.7.2 FPGA 的工作模式	246	8.2.2 权电阻网络 DAC	281
6.7.3 FPGA 的开发应用	249	8.2.3 倒 T 形电阻网络 DAC	283
6.8 本章小结	250	8.2.4 8 位 DAC 集成芯片及其 应用.....	285
6.9 思考题与习题	251	8.3 模/数转换器	288
第 7 章 脉冲产生和整形电路	253	8.3.1 A/D 转换的一般步骤和 取样定理.....	288
7.1 555 定时器	253	8.3.2 取样/保持电路.....	290
7.2 单稳态触发器	254	8.3.3 并行比较型 ADC	291
7.2.1 由 555 定时器构成的 单稳态触发器.....	254	8.3.4 逐次比较型 ADC	292
7.2.2 由逻辑门构成的单稳态 触发器	256	8.3.5 双积分型 ADC	293
7.2.3 集成单稳态触发器.....	256	8.3.6 集成 ADC	296
7.2.4 单稳态触发器应用.....	259	8.4 ADC 芯片应用举例	297
7.3 多谐振荡器	260	8.4.1 ADC0804 在智能数据 采集系统中的应用	297
7.3.1 由 555 定时器构成多谐 振荡器	260	8.4.2 双积分 A/D 转换芯片 CC14433	298
7.3.2 由逻辑门构成的多谐 振荡器	262	8.4.3 CC14433 在数字电压 表中的应用.....	300
7.3.3 石英晶体多谐振荡器.....	263	8.5 本章小结	302

8.6 思考题与习题	303	附录 C 常用数字集成电路引脚 排列图	316
附录 A 《电气简图用图形符号第 12 部分：二进制逻辑元件》 简介	304	附录 D TTL 与 CMOS 逻辑门电路的 技术参数	323
附录 B 常用逻辑元件图形符号 对照表	314	附录 E VHDL 简介	324
		参考文献	356

第 1 章 数字逻辑基础

教学提示:

本章首先介绍数字信号、数字技术和数字系统等基本概念,然后介绍计算机所涉及的各种进制数的表示方法,最后介绍逻辑代数的基本概念、公式和定理,逻辑函数的公式化简法和卡诺图化简法。逻辑代数是分析及设计数字电路的基本工具,逻辑函数化简是数字电路分析及设计的基础。

教学要求:

- (1) 理解数字信号和数字系统的基本概念;掌握数字进制的概念,二进制数的表示方式及其他进制之间的转换方法;理解并掌握 8421BCD 码的表示方法;了解 ASCII 码表述的基本规律。
- (2) 熟练掌握逻辑代数运算的基本公式、定理、基本规则、逻辑函数的表示方式及相互转换方法;熟练掌握用公式法和卡诺图法化简逻辑函数的方法;了解涉及无关项逻辑函数化简的方法。
- (3) 熟悉三种基本的数字逻辑器件及其应用。

1.1 概 述

1.1.1 数字信号、数字电路、数字系统

客观世界存在的各种物理信号,按其幅值随时间的变化规律,可以分为模拟信号和数字信号两种类型。模拟信号是在一定范围内,幅值随时间连续变化的信号,如电压、速度、温度、声音、图像信号等,如图 1.1(a)所示。用于传送、加工和处理模拟信号的电路称为模拟电路。由离散电平组成的信号如图 1.1(b)所示。该信号包含了两个电平,即逻辑低电平(逻辑 0)和逻辑高电平(逻辑 1)。

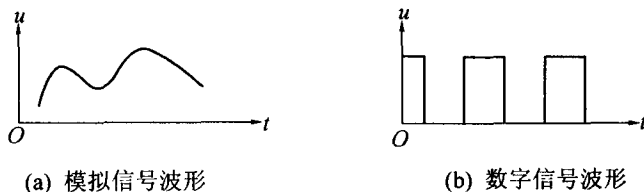


图 1.1 模拟信号和数字信号波形

数字信号的特点是:只在某些特定的时间内出现,而且其数值的变化都是某一最小数值单位的整数倍,所以图 1.1(b)所示的离散信号称为数字信号。对数字信号进行存储、运算、变换、合成、处理等的电子电路,则称为数字电路。数字电路的工作对象是数字信号,数字信号是由数字 0、1 组成的信号,实际上也是一种脉冲信号,如 VCD、DVD 上的信号,显然,数字电路也是一种脉冲电路。但是,数字电路并不关注脉冲波形的本身,而是关注

电路输出状态与输入状态之间的逻辑关系,因此,数字电路也称作逻辑电路。

用离散的数字方式表征与处理信息的系统称作数字系统,它是相互连接的功能模块的集合。一台单片微型计算机就是一个典型的最完善的最小数字系统,而数字电路则是计算机和所有电子系统的硬件基础。显然,学好数字逻辑电路,对于学好后续的“通信电子线路”、“单片机原理与接口”、“计算机系统结构”、“微型计算机控制技术”等课程具有十分重要的意义。

1.1.2 数字电路的特点、分类及其应用

1. 同模拟电路相比较,数字电路的主要特点

(1) 工作可靠,抗干扰能力强。因为数字电路只有 0 和 1 两个电平信号,受噪声和环境条件的影响极小。

(2) 电路结构简单,集成度高,成本低。数字电路中电子元、器件主要工作在开关状态,对元、器件本身的参数要求不高,便于大规模集成和生产。

(3) 数字信息便于长期保存和加密。便于用计算机来处理大量的不同的信息。

(4) 数字集成电路产品系列齐全,通用性强,且价格越来越便宜。

(5) 数字电路不仅能完成数值运算,而且还能进行逻辑判断。

(6) 工作效率高。数字电路智能化后能够“时分复用”、“频分复用”,即利用同一个数字信号处理器同时处理多个通道的信号。

2. 数字集成电路的分类

数字集成电路按其内部有源器件的不同,可以分为双极型集成门电路、单极型 MOS 集成门电路和双极型工艺与互补 MOS 工艺混合制成的 BI-CMOS 集成门电路三大类型。

20 世纪 70 年代,半导体器件生产厂家不仅把单个元器件、单个门电路集成到同一块硅片上,而且把多个单元、子系统等比较复杂的电路集成到一起,一块小小的硅片上有成百上千个门电路,数十万只元器件,这就是大规模集成电路。一块几十平方毫米的硅片上可以集成一台甚至多台微处理器及其外围电路。多个子系统,如 FPGA, DSP 集成电路,数以千万计的半导体元器件可以集成到一小块硅片上,可以断言,一个朝气蓬勃,如日中天的数字时代已经到来。人们常常把每片集成电路中门电路或等效门电路的数量称为集成度。按照集成度的不同,数字集成电路又可以分为以下四类:

(1) 小规模集成电路(SSI)。如各种逻辑单元电路,各种逻辑门电路等,其集成度为 1~10 门/片,或 10~100 个元器件/片。

(2) 中规模集成电路(MSI)。如编码器、译码器,多路模拟开关,比较器、寄存器、计数器、A/D 和 D/A 转换器等。其集成度为 10~100 门/片,或 100~1000 个元器件/片。

(3) 大规模集成电路(LSI)。如微型计算机中的中央处理器(CPU),存储器(E²PROM, Flash),高密度系统可编程逻辑器件(ISP-HDPLD)等。其集成度为 $1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^4$ 门/片以上,或 $1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^5$ 个元器件/片。

(4) 超大规模集成电路(VLSI)。如单片计算机等高集成度的数字逻辑系统等,其集成度为 1×10^4 门/片以上,或 1×10^5 个元器件/片以上。

3. 数字电子技术的应用

数字电子技术的发展是日新月异，内容越来越丰富，用途越来越广泛，技术越来越成熟。在生活中，人们越来越感受到数字电子技术产品带来的方便与快捷，比如手上带的电子表，书包内的计算器，移动电话机，个人计算机，电子游戏机，家庭里的数字彩电、VCD、DVD、数码相机，市场上的电子秤，实验室的数字仪表，工厂里的数控机床，马路上的交通管制系统等。不胜枚举，这些无一不是数字电子技术应用的成果。

1.2 数制与编码

1.2.1 数制

所谓数制就是计数的进制。在日常生活中，人们最熟悉的是十进制。由于数字信号只有“0”和“1”两个不同的状态，因此，在计算机和数字电路中，常用的是二进制数。此外，还有八进制数，十六进制数，即

$$25_{(10)} = (11001)_{(2)} = 31_{(8)} = 19_{(16)}$$

(1) 十进制数中的 0~5 所对应的不同数制的表示方法如表 1-1 所示。

表 1-1 几种常用数制对照表

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0000	0	0	8	1000	10	8
1	0001	1	1	9	1001	11	9
2	0010	2	2	10	1010	12	A
3	0011	3	3	11	1011	13	B
4	0100	4	4	12	1100	14	C
5	0101	5	5	13	1101	15	D
6	0110	6	6	14	1110	16	E
7	0111	7	7	15	1111	17	F

十进制是“满 10 进 1”，对于任意一个十进制数，用多项式表示为

$$N_{(10)} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i \quad (1.1)$$

式(1.1)中， $a_i=0、1、2、3、\cdots、9$ ，是 10^i 位的系数，称为十进制数的基数； n 为整数部分的位数； m 为小数部分的位数。例如：

$$25_{(10)} = 2 \times 10^1 + 5 \times 10^0 = 20 + 5$$

(2) 类似地，二进制数是“满 2 进 1”，对于任意一个二进制数，用多项式表示为

$$N_{(2)} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i \quad (1.2)$$

式(1.2)中, $a_i=0、1$, 是 2^i 位的系数, 称为二进制的基数; n 为整数部分的位数; m 为小数部分的位数。例如:

$$11001_{(2)} = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 16 + 8 + 0 + 0 + 1 = 25_{(10)}$$

1.2.2 不同数制间的转换

1. 十进制数转换为二进制数、八进制数和十六进制数

方法是: 整数部分采用“除基取余”法。即将十进制数的整数部分逐次被基数 C 除, 每次除完后所得的余数便为要转换的数码, 直到商为 0 时止。第 1 个余数为最低位, 最后 1 个余数为最高位。小数部分则采用“乘基取整”法, 即将十进制数的小数部分乘以基数 C , 乘积的整数部分作 C 进制数的小数部分。第 1 个取出的整数为最高位, 最后一个取出的整数为最低位。

【例 1.1】 将十进制数 $29.437_{(10)}$ 转换成二进制数。

解: (1) 整数部分 $29_{(10)}$, 采用“除 2 取余”法转换。

	余数	
$2 \overline{) 29}$	 $1 = a_0$	$\uparrow$ 最低位(LSB) 最高位(MSB)
$2 \overline{) 14}$	 $0 = a_1$	
$2 \overline{) 7}$	 $1 = a_2$	
$2 \overline{) 3}$	 $1 = a_3$	
$2 \overline{) 1}$	 $1 = a_4$	

所以 $29_{(10)} = 11101_{(2)}$

(2) 小数部分 $0.437_{(10)}$, 采用“乘 2 取整”法转换。

0.437	整数部分	
$\times \quad 2$		
$\underline{0.874}$	 $0 = a_{-1}$	$\downarrow$ 最高位(MSB) 最低位(LSB)
$\times \quad 2$		
$\underline{1.748}$	 $1 = a_{-2}$	
$\times \quad 2$		
$\underline{1.496}$	 $1 = a_{-3}$	
$\times \quad 2$		
$\underline{0.992}$	 $0 = a_{-4}$	
$\times \quad 2$		
$\underline{1.984}$	 $1 = a_{-5}$	

所以 $0.437_{(10)} = 0.01101_{(2)}$

由此可得: $29.437_{(10)} = 11101.01101_{(2)}$

十进制数转换为八进制数和十六进制数的方法和十进制数转换为二进制数的方法是相同的, 所不同的是前者的基数分别为 8 和 16。

【例 1.2】 将十进制数 $161.437_{(10)}$ 分别转换为八进制数和十六进制数。

解: (1) 整数部分余数转换采用“除基取余”法, 它们的基数分别为 8 和 16。

余数		余数
$8 \overline{) 161} \dots\dots 2 = a_0 \uparrow$		$16 \overline{) 161} \dots\dots 1 = a_0 \uparrow$
$8 \overline{) 20} \dots\dots 4 = a_1$		$16 \overline{) 10} \dots\dots A = a_1 \uparrow$
$8 \overline{) 2} \dots\dots 2 = a_2$		0
0		

所以 $161_{(10)} = 242_{(8)} = A1_{(16)}$

(2) 小数部分转换采用“乘基取整”法

0.437	整数部分		0.437	整数部分
$\times \underline{8}$			$\times \underline{16}$	
$\boxed{3}. 496 \dots\dots 3 = a_{-1}$	↓		$\boxed{6}. 992 \dots\dots 6 = a_{-1}$	↓
$\times \underline{8}$			$\times \underline{16}$	
$\boxed{3}. 968 \dots\dots 3 = a_{-2}$			$\boxed{15}. 872 \dots\dots 15 = a_{-2}$	
$\times \underline{8}$			$\times \underline{16}$	
$\boxed{7}. 744 \dots\dots 7 = a_{-3}$			$\boxed{13}. 952 \dots\dots 13 = a_{-3}$	
$\times \underline{8}$			$\times \underline{16}$	
$\boxed{5}. 952 \dots\dots 5 = a_{-4}$		$\boxed{15}. 232 \dots\dots 15 = a_{-4}$		
$\times \underline{8}$		$\times \underline{16}$		
$\boxed{7}. 616 \dots\dots 7 = a_{-5}$		$\boxed{3}. 712 \dots\dots 3 = a_{-5}$		

所以 $0.437_{(10)} = 0.33757_{(8)} = 0.6FDF3_{(16)}$

由此可得: $161.437_{(10)} = 242.33757_{(8)} = A1.6FDF3_{(16)}$

2. 二进制数、八进制数和十六进制数转换为十进制数

数码和位权值的乘积称为加权系数，各位加权系数相加的结果便为对应的十进制数。

【例 1.3】将 $10110.011_{(2)}$ 、 $621.34_{(8)}$ 、 $2AD.C7_{(16)}$ 分别转换为十进制数。

解: (1) $10110.011_{(2)} = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = 22.375_{(10)}$

(2) $621.34_{(8)} = 6 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 1 \times 8^0 + 3 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2} = 401.4375_{(8)}$

(3) $2AD.C7_{(16)} = 2 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 13 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1} + 7 \times 16^{-2} = 685.7773_{(10)}$

3. 二进制数与八进制数、十六进制数间的相应转换

1) 二进制数与八进制数的相应转换

因为 $2^3=8$ ，即每位八进制数由 3 位二进制数构成。所以，整数部分从低位开始，每 3 位二进制数为一组，最后一组不是 3 位，则在最高位加 0 补足 3 位，然后用对应的八进制数来代替，再按原顺序排列出对应的八进制数。

【例 1.4】将十进制数 $11011010.01110101_{(2)}$ 转换为八进制数。

解: $\begin{array}{cccccc} \underline{011} & \underline{011} & \underline{010} & \underline{011} & \underline{101} & \underline{010} \\ 3 & 3 & 2 & 3 & 5 & 2 \end{array}$

所以 $11011010.01101_{(2)} = 332.325_{(8)}$

将每位八进制数用 3 位二进制数代替，再按原来的顺序排列起来，便得到了相应的二进制数。

【例 1.5】将八进制数 $651.463_{(8)}$ 转换为二进制数。

解: $\begin{array}{ccc|ccc} \underline{6} & \underline{5} & \underline{1} & . & \underline{4} & \underline{6} & \underline{3} \\ 110 & 101 & 001 & . & 100 & 110 & 011 \end{array}$
 所以 $651.463_{(8)} = 110101001.100110011_{(2)}$

2) 二进制数和十六进制数间的转换

由于十六进制数的基数 $16=2^4$ ，即每位十六进制数由 4 位二进制数构成。所以，二进制数的整数部分从低位开始，每 4 位分为一组，最后一组不是 4 位时，则在高位加 0 补足 4 位为止。小数部分从高位开始，每 4 位二进制数为一组，最后一组不是 4 位时，在低位加 0 补足 4 位，然后用对应的十六进制数来代替，再按顺序写出对应的十六进制数。

【例 1.6】将二进制数 $10111011011.100101_{(2)}$ 转换成十六进制数。

解: $\begin{array}{ccc|ccc} \underline{0101} & \underline{1101} & \underline{1011} & . & \underline{1001} & \underline{0100} \\ 5 & D & B & . & 9 & 4 \end{array}$
 所以 $10111011011.100101_{(2)} = 5DB.94_{(16)}$

十六进制数转换为二进制数的方法是：将每位十六进制数用 4 位二进制数来代替，再按原来的顺序排列起来，便得到了相应的二进制数。

【例 1.7】试将十六进制数 $4EB3.98D_{(16)}$ 转换成二进制数。

解: $\begin{array}{ccc|ccc} \underline{4} & \underline{E} & \underline{B} & . & \underline{9} & \underline{8} & \underline{D} \\ 100 & 1110 & 1011 & . & 1001 & 1000 & 1101 \end{array}$
 所以 $4EB3.98D_{(16)} = 100111010110011.100110001101_{(2)}$

1.2.3 编码

1. 几种常用的编码

将十进制数的 0~9 十个数码用二进制数表示的代码，称为二—十进制编码，简称为 BCD(Binary Coded Decimal)代码。由于 4 位二进制代码可以组成 16 种不同的组合，从中选出 10 种组合可以有多种方案，所以 BCD 码有多种方案。常见的 BCD 代码如表 1-2 所示。根据 BCD 码代码中每一位是否有固定的位权，可将其分为有权码和无权码两种类型。

(1) 8421BCD 码是常用的有权码，其 4 位二进制码从高位到低位的权依次是 8、4、2、1，所以把这种代码称为 8421 码。由于它具有简单、自然、容易识别的特点，所以在数字系统中得到广泛的应用。

(2) 2421BCD 码也是一种有权码，其 4 位二进制码从高位到低位的权依次为 2、4、2、1。2421 码不具备单值性，为了与十进制码一一对应，2421 码不允许出现 0101~1010 的 6 种状态。2421 码是一种对 9 的自补代码，这种特性有利于计算机对十进制数的运算。

(3) 余 3 码是由 8421 码加上 0011 形成的一种无权码。由于它的每个字符编码在数值上比相应的 8421 码多 3，故称为余 3 码。在余 3 码中，十进制字符 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 的各码位互为相反，也是一种对 9 的自补代码，即对其按位求反即可求得对 9 的补码，因而也可给计算机运算带来方便。