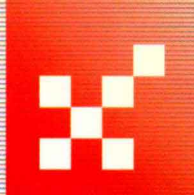




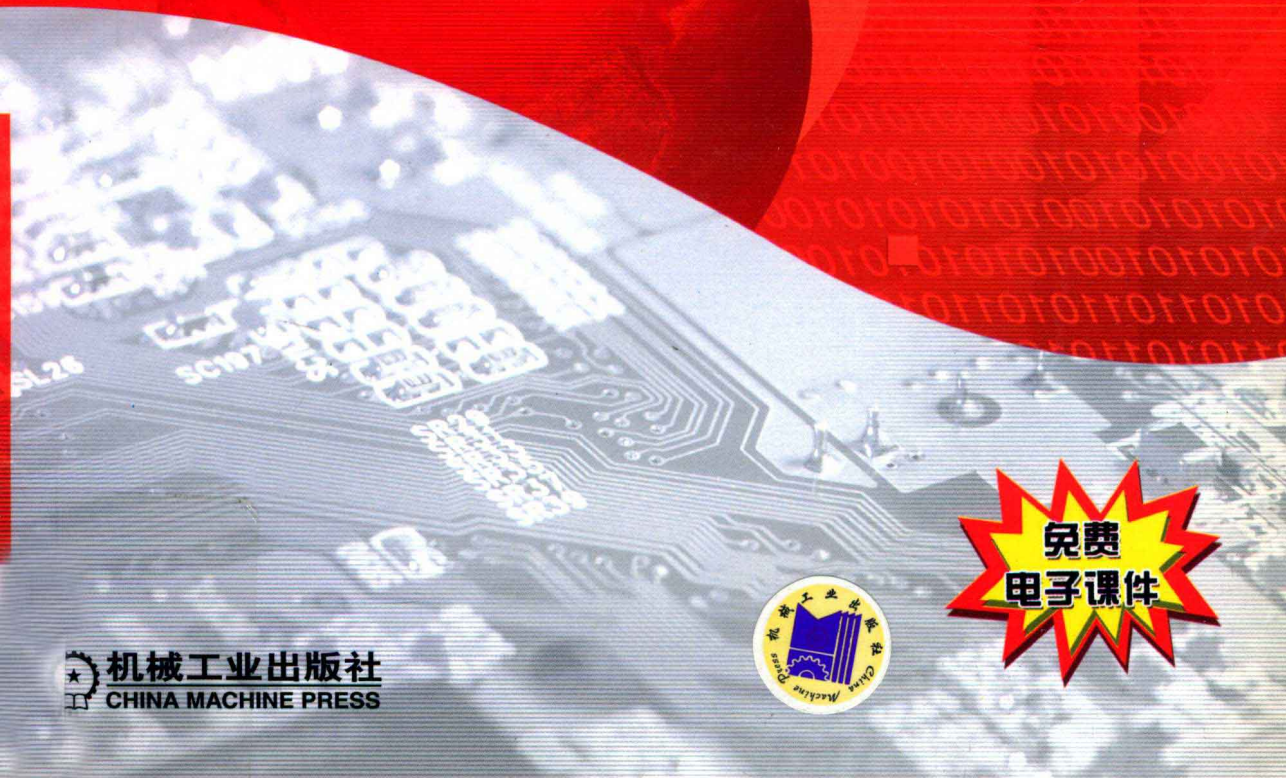
普通高等教育“十一五”国家级规划教材



数字电子技术

● 成 立 主 编
● 王振宇 副主编

第2版



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数字电子技术

第2版

主 编 成 立
副主编 王振宇
参 编 汪 洋 杨建宁
主 审 周连贵 张尤赛



机械工业出版社

本书是编者根据2004年8月教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会颁布的“数字电子技术基础”课程的教学基本要求,结合多年来教学改革的经验编写而成的。全书共分9章,内容有:数字电路基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、半导体存储器和可编程逻辑器件、数模与模数转换器、脉冲波形的产生与变换和EDA软件工具应用等。本书的主要知识点都配备有适当的例题和习题,为学生课后复习、练习和归纳总结提供必需的资料。书末还备有学习本课程所需的附录A~G和部分习题答案。

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书思路顺畅,层次分明,文字简练,适合于理工科高等院校电气信息类专业(含自动化、电气技术、电子信息工程、电子信息科学与技术、生物医学工程、通信、计算机、测控和机电一体化等)“数字电子技术”或“数字集成电路”等课程教学,也可供从事微电子技术和电气信息类专业的工程技术人员参考。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 下载或发电子邮件到 EdmondYan@sina.com 索取。
EdmondYan@hotmail.com

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/成立主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2008. 12

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-13182-3

I. 数… II. 成… 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(2009)第014273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:贡克勤 责任编辑:贡克勤 版式设计:霍永明

责任校对:陈延翔 封面设计:张静 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009年5月第2版第1次印刷

184mm×260mm·20.75印张·512千字

标准书号:ISBN 978-7-111-13182-3

定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379727

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

“数字电子技术”是一门实践性、应用性都很强的技术基础课程。随着集成电路制备技术的迅速发展，中、大规模和超大规模数字集成电路(MSI、LSI和VLSI)在各个领域广泛应用，数字电子技术已成为21世纪数字经济时代的强大推动力。为了反映数字电子技术的新发展，使教学适应“十一五”后期和“十二五”前期教学改革的需要，我们结合20多年来的教学经验和十多年来的教改实践，在“数字电子技术(第1版)”的基础上修订出这部教材。修订教材的总体框架思路是：更新知识，充实内容，为创新设计和集成电路应用服务。具体考虑如下：

1. 根据2004年8月教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会颁布的“数字电子技术基础”课程的教学基本要求，修订了第1版的第1~8章，充实了国内外最新的数字集成电路(IC)，例如引入双极型互补金属氧化物半导体(BiCMOS)逻辑门电路、高速通信系统用快闪式存储器、快闪式A/D和D/A转换器、在系统可编程逻辑器件(ISP-PLD)和ABLE硬件描述语言等软硬件应用知识；编写时避开SSI和MSI数字IC芯片内部电流、电压的计算，着重介绍其外部逻辑功能；加强了MSI芯片连线应用知识的阐述和例题的选配；收集并整理了章后练习题，编制出单项选择题，作为每章基本概念和应用方法的小结；重点改写了第6章“半导体存储器和可编程逻辑器件”，新增了第9章“EDA软件工具应用”，以培养学生数字电路和系统创新设计以及软件编程工具的使用能力。

2. 以上调整或充实的内容有的可作简介，作为了解的知识，有的可列入选学或自学内容，也有的可重点讲解；而新增的第9章可作为EDA课程设计或创新设计集训的讲授内容。

3. 为了满足“微机原理与应用”、“单片机原理与应用”和“微机控制技术”等课程提前一个学期的教学需要，第2版教材采用“先数字后模拟”的顺序，所以增加了1.7节：“数字电路中的半导体器件”。但对于采用“先模拟后数字”的院校，1.7节可以不在“数字电子技术”课程中讲解。

4. 本书的主要知识点都配备有例题，为学生课后阅读和练习提供分析问题的思路。另外，书中精选了一定数量的练习题以供选做，书后还给出了部分习题的答案。

5. 凡是打“*”的章节可作为选讲或自学内容，每章打“*”的练习题也是如此。讲授本教材所需的总学时数约为60，建议各章学时数分配如下：

章号	1	2	3	4	5	6	7	8	实验
学时	9	6	6	6	8	8	4	5	8

本书编写分工如下：江苏大学成立教授担任主编，并编写第1、2、3章和第2版前言、目录、部分习题答案及统稿和定稿等，王振宇副教授担任副主编，编写第7、8、9章和附录等，汪洋讲师编写第4、5章，杨建宁副教授参编第6章。本书由南京理工大学周连贵教授

和江苏科技大学张尤赛教授主审，两位老师认真地审阅了书稿，提出了许多宝贵的意见和建议，编者在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限，书中难免存在着错误和不当之处，恳请读者们批评指正。

编 者

第1版前言

本书是全国高校电子技术基础课程协作组组织编写的高等学校系列教材之一，也是江苏省“十五”教育科学规划立项课题“走向信息技术(IT)本位的教学改革与大学生信息素质的培养”的一项研究成果。

自从20世纪70年代末以来，在国内电气类、电子信息类和自动化类专业电子技术基础课程方面已经出版了几套教材，这些教材的使用范围广，一般已经数版修订，深受高校工科大类专业广大师生的欢迎，有的已荣获国家级奖励或部、省级奖励。在这种情况下，还有没有必要于新世纪初叶在同一门课程上再编写新的教材？如有必要，新编教材又应该具有怎样的特色？这是两个首先要解决的问题。

在同一门课程上，协作组认为，应该允许和鼓励教师编写不同风格的教材，因为不同风格教材有的内容详尽且完备，有的剪裁得体而精炼，只有这样才能做到推陈出新，相得益彰。多年来国家教育部工科院校电子技术基础课程教学领导小组正是这样做的。在多年的教学实践中，许多教师的共同感受是：在数字电子技术这门课程上，内容与学时的矛盾一直很尖锐，而且新技术、新器件、新应用层出不穷。21世纪是数字革命的时代。而现有的某些教材虽编写水平较高，但篇幅过大，教与学都感到不便。有的教材内容颇为陈旧，甚至已经落伍，有的教材存在的问题较多，学生意见较大。因此，编写一本既要内容精炼，时代气息强烈，又能较好地满足教学应用需求的数字电子技术教材，是协作组高校共同的愿望。

经过协作组研究决定，要求参加协作组的各院校通力合作，编写一本符合上述要求的数字电子技术教材。于是拟参编院校随即召开了会议，会上对编写思路、具体要求和相关事宜，以及具体分工等问题进行了详尽的讨论，并与机械工业出版社联系，取得了出版社的热情支持。经过长达一年紧张而有序的工作，编写出了这本教材。与国内同类教材相比，本教材具有如下特点：

1. 紧扣大纲，培养信息素质和处理信息知识的能力。紧紧扣住1993年全国电子技术课程教学小组颁发的高校工科电子技术基础课程(数字部分)教学基本要求，注重在培养学生分析问题和解决问题的能力、实验动手和设计技能、实际应用能力和实行启发式教学，以及启发思考、归纳小结和精讲多练等方面下了功夫。

2. 更新知识，注重应用。写进了反映国内外数字电子技术日新月异的研发成果和发展趋势等内容，充实了国内外最新的数字电子技术、数字电路和系统的有关知识。例如，射极耦合逻辑(ECL)电路、双极型互补金属氧化物半导体(BiCMOS)数字逻辑电路，通信用[包括软件无线电和数字信号处理器(DSP)用]快闪式存储器、A/D和D/A转换器、电子设计自动化(EDA)和可编程逻辑器件(PLD)的高科技产品及其使用方法等内容。以上所充实的内容有的可以简介，作为需了解知识，有的可列入选讲内容，有的则可作重点介绍。

3. 处理得当，精工细作，打造精品。所编教材易教易学，具有一定的可教性、可读性和可操作性，适合于学生阅读。例如：书中不介绍SSI、MSI芯片内部电流、电压的计算，加强了MSI组合逻辑电路和时序逻辑电路芯片应用内容的介绍，并从例题和习题的选配上

加大了这一方面的教学力度，简明而实用；对于学生能够看懂的内容，提供给学生课外阅读，这样做既可培养学生自学能力，又可节省课内学时数；另外，因为新编教材可供制作多媒体课件之用，所以编写时在教材的条理性、图文并茂以及基本概念和分析方法的归纳和升华上下了功夫。

4. 精选例题和习题。所编教材的主要知识点都配备有例题，为学生课后阅读和练习提供了分析和解题的思路。另外，精选了一定数量习题供教学选用，书后给出了部分习题答案。

全书共分为8章。书中凡是章节打“*”处为选讲内容，章后习题也是如此。讲授本书所需的总学时数约为60，其中各章的学时数建议分配如下：

章号	1	2	3	4	5	6	7	8	实验
学时	5	6	8	6	9	8	4	6	8

编写本教材的具体分工如下：由江苏大学成立教授担任主编，并编写其中的第1~3章和前言、目录以及统稿、修改和定稿等，华北工学院王康宜副教授参编第4~5章，兰州理工大学杨新华副教授参编第6章，江苏大学高平讲师编写第7~8章和附录。在统稿和修改过程中，王振宇工程师、江苏大学高平讲师和唐平讲师协助主编完成了大量的计算机图文处理和习题解答工作，在此表示由衷的感谢。

本书由南京理工大学周连贵教授和南京工程学院郭永贞教授担任主审，江南大学赵曾贻副教授和江苏科技大学徐和杰副教授亦参加了本书的审稿工作。4位老师在炎热的暑期中，认真、仔细地审阅了全书的文稿和图稿，提出了许多宝贵的修改意见和建议，给本人改稿以启示。本书于2003年9月6日在江苏大学召开了审稿会，与会老师又对修改稿提出了一些中肯的意见和建议，主编随即夜以继日地重新修改，仔细斟酌，这对于提高书稿质量起到了重要的作用。值此新教材出版之际，编者衷心地感激4位审稿老师、机械工业出版社领导和编辑老师给予本教材的热情支持和帮助。

限于编者的水平，所编教材还存在着许多不完善的地方，恳请各位老师和广大读者给予批评指正。

编 者

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第 1 章 数字电路基础	1
引言	1
1.1 数字电路概述	1
1.1.1 模拟信号和数字信号	1
1.1.2 数字电路的特点	2
1.1.3 数字电路的发展与分类	2
1.1.4 数字电路的分析方法	4
1.2 计数制与编码	4
1.2.1 常用的计数制及其相互转换规律	4
1.2.2 编码	5
1.3 逻辑代数基础	6
1.3.1 逻辑代数的 3 种基本运算	7
1.3.2 逻辑代数的基本公式和常用公式	9
1.3.3 逻辑代数的基本规则	10
1.4 逻辑函数的建立及其表示方法	10
1.5 逻辑函数的化简	11
1.5.1 逻辑函数的最简形式	11
1.5.2 逻辑函数的公式化简法	12
1.5.3 用卡诺图化简逻辑函数	13
1.6 具有无关项逻辑函数的化简	16
1.7 数字电路中的半导体器件	17
1.7.1 本征半导体	17
1.7.2 杂质半导体	18
1.7.3 PN 结及其单向导电性	19
1.7.4 半导体二极管	22
1.7.5 双极型晶体三极管	25
1.7.6 增强型绝缘栅场效应晶体管	32
习题 1	34
第 2 章 集成逻辑门电路	38
引言	38
2.1 基本逻辑门电路	38
2.1.1 二极管与门及或门电路	38

2.1.2	非门电路	39
2.2	TTL 逻辑门电路	40
2.2.1	TTL 与非门的电路结构和工作原理	40
2.2.2	TTL 与非门的技术参数	43
2.2.3	集电极开路门和三态门	47
*2.3	射极耦合逻辑门电路(ECL 门)	51
2.4	CMOS 逻辑门电路	54
2.4.1	CMOS 反相器	54
2.4.2	CMOS 门电路	56
2.4.3	CMOS 传输门和双向模拟开关	57
2.4.4	CMOS 漏极开路门及三态门	58
2.5	BiCMOS 门电路	59
2.5.1	BiCMOS 反相器	59
2.5.2	BiCMOS 逻辑门电路	60
2.6	逻辑门电路使用中的几个问题	60
2.6.1	正负逻辑问题	60
2.6.2	逻辑门电路多余输入端的处理措施	61
2.6.3	逻辑门电路应用举例	61
2.7	几种集成门电路的性能比较	62
	习题 2	63
第 3 章	组合逻辑电路	68
	引言	68
3.1	组合逻辑电路概述	68
3.2	组合逻辑电路的分析	68
3.2.1	分析组合逻辑电路的一般步骤	68
3.2.2	几种常用的组合逻辑电路和器件	69
3.3	组合逻辑电路的设计	74
3.3.1	组合逻辑电路的设计概述	74
3.3.2	组合逻辑电路的设计方法	74
3.4	用小规模集成电路(SSI)实现组合逻辑电路设计	75
3.4.1	设计组合逻辑电路的一般步骤	75
3.4.2	组合逻辑电路设计举例	75
3.4.3	编码器	77
3.4.4	译码器	80
3.4.5	数值比较器	88
*3.5	组合逻辑电路中的竞争冒险	90
3.5.1	产生竞争冒险的原因	90
3.5.2	消除竞争冒险的方法	91
3.6	用 MSI 芯片设计其他的组合逻辑电路	92

3.6.1 用数据选择器实现组合逻辑功能	92
3.6.2 用译码器实现多种组合逻辑功能	94
3.6.3 用全加器实现多种组合逻辑功能	96
3.7 组合逻辑电路的综合应用例	99
习题3	101
第4章 集成触发器	106
引言	106
4.1 触发器概述	106
4.2 基本RS触发器	106
4.2.1 用与非门构成的基本RS触发器	106
4.2.2 由或非门构成的基本RS触发器	109
4.2.3 集成基本RS触发器	109
4.3 时钟触发器	110
4.3.1 同步RS触发器	110
4.3.2 主从触发器	112
4.3.3 边沿触发器	116
4.4 T触发器和T'触发器	123
4.4.1 T触发器	123
4.4.2 T'触发器	123
习题4	124
第5章 时序逻辑电路	128
引言	128
5.1 时序逻辑电路概述	128
5.2 时序逻辑电路的分析方法	129
5.2.1 分析时序逻辑电路的一般步骤	129
5.2.2 寄存器和移位寄存器	129
5.2.3 计数器	135
5.3 时序逻辑电路的设计	150
5.3.1 时序逻辑电路的几种设计方法	150
5.3.2 一般同步时序逻辑电路的设计方法	151
5.4 MSI时序逻辑器件的应用	161
5.4.1 MSI计数器芯片的应用	161
5.4.2 MSI寄存器芯片的应用	168
习题5	173
第6章 半导体存储器和可编程逻辑器件	179
引言	179
6.1 半导体存储器	179
6.1.1 半导体存储器的特点	179
6.1.2 半导体存储器的分类	179

6.1.3 半导体存储器的主要技术指标	180
6.2 随机存取存储器(RAM)	180
6.2.1 RAM 的结构	180
6.2.2 RAM 的存储单元	182
6.3 只读存储器(ROM)	185
6.3.1 ROM 的结构	185
6.3.2 掩模式只读存储器(固定 ROM)	185
6.3.3 可编程只读存储器(PROM)	187
6.3.4 可擦除可编程只读存储器(EPROM)	188
6.4 存储器容量的扩展	192
6.5 可编程逻辑器件(PLD)	194
6.5.1 PLD 概述	194
6.5.2 可编程阵列逻辑(PAL)	197
6.5.3 通用阵列逻辑(GAL)	200
*6.5.4 复杂的可编程逻辑器件(CPLD)	205
*6.5.5 现场可编程门阵列(FPGA)	209
*6.5.6 在系统可编程逻辑器件(ISP-PLD)	214
*6.5.7 可编程逻辑器件开发技术简介	218
习题 6	218
第 7 章 数模与模数转换器	220
引言	220
7.1 D/A 转换器	220
7.1.1 D/A 转换器及其主要参数	220
7.1.2 权电流型 D/A 转换器	222
7.1.3 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	222
7.1.4 模拟电子开关	224
7.2 A/D 转换器	226
7.2.1 A/D 转换的一般工作过程	226
7.2.2 并行比较型 A/D 转换器	228
7.2.3 逐次逼近型 A/D 转换器	230
7.2.4 双积分式 A/D 转换器	232
7.2.5 A/D 转换器的主要技术指标	234
*7.2.6 集成 A/D 转换器及其应用	235
习题 7	237
第 8 章 脉冲波形的产生与变换	240
引言	240
8.1 实际的矩形波及其参数	240
8.2 集成 555 定时器	241
8.2.1 集成 555 定时器简介	241

8.2.2 集成定时器 CC7555 的内部逻辑电路	241
8.2.3 CC7555 的工作原理	242
8.3 用 555 定时器构成脉冲的产生与变换电路	243
8.3.1 555 定时器构成施密特触发器	243
8.3.2 555 定时器构成单稳态触发器	245
8.3.3 555 定时器构成多谐振荡器	247
8.4 用门电路组成的脉冲信号电路和集成脉冲发生器	250
8.4.1 用 TTL 门电路组成的施密特触发器	250
8.4.2 TTL 集成施密特触发门	251
8.4.3 用门电路组成的积分型单稳态触发器	252
8.4.4 集成单稳态触发器	254
8.4.5 石英晶体振荡器	256
8.5 脉冲信号产生与变换电路应用举例	258
习题 8	260
第 9 章 EDA 软件工具应用	265
引言	265
9.1 数字系统 EDA 设计概述	265
9.2 ABEL-HDL 基础	266
9.2.1 ABEL 语言的基本元素	266
9.2.2 ABEL 语言的基本语法结构	270
9.2.3 ABEL 语言逻辑描述的方法	273
9.2.4 常用指示字	275
9.2.5 ABEL 的点扩展	276
9.2.6 ABEL 语言设计示例	277
9.3 用 ispDesign EXPERT 软件设计数字系统	283
9.3.1 ispDesign EXPERT 软件简介	283
9.3.2 项目创建与器件选择	285
9.3.3 原理图输入方式示例	286
9.3.4 ABEL 语言输入法设计	290
9.3.5 ABEL 语言与原理图输入混合设计	291
9.4 数字系统综合设计实例	294
9.5 适配器件与下载	301
习题 9	302
附录	304
附录 A 美国标准信息交换码(ASCII)	304
附录 B 二进制数算术运算	304
B.1 二进制数加法	304
B.2 二进制数减法	305
B.3 二进制数乘法	305

B.4	二进制数除法	305
B.5	用带符号位的二进制数以实现减法运算	305
附录 C	TTL 和 CMOS 逻辑门电路的技术参数	306
附录 D	二进制逻辑单元图形符号简介(GB 4728.12—1996)	307
D.1	二进制逻辑单元图形符号的组成	307
D.2	逻辑状态及其有关约定	309
附录 E	国产半导体集成电路型号命名法(GB 3430—1989)	310
E.1	型号的组成	310
E.2	示例	311
附录 F	常用 ADC 和 DAC 芯片简介	311
附录 G	电阻器型号、名称和标称系列	313
G.1	电阻器型号名称对照	313
G.2	电阻器(电位器)、电容器标称系列及其误差	313
部分习题答案		314
参考文献		318

第 1 章 数字电路基础

【引言】 进入 21 世纪以来，以数字电子技术为主要标志的科技进步日新月异，高科技向现实生产力的转化越来越快，初见端倪的数字经济时代已给人类的经济和物质文化生活带来了巨大变化。无论是信息的存储形式，信息的检索方法，还是信息的利用手段都发生了前所未有的变革。人们可以通过因特网(Internet)、万维网(WWW)等查阅所需要的各种文献资料，计算机、多媒体技术、电子邮件(E-mail)、视频会议、在线讨论、虚拟技术、手机和卫星通信系统等均被广泛应用，这一切都给 21 世纪头 10 年带来了革命性的影响。

数字电路几乎用于上述每个电子设备、网络或系统中。所以学习“数字电子技术”课程非常重要。本章首先介绍数字电路的概述、数制和码制的基本知识，然后讨论逻辑代数的应用知识，接着讲述两种逻辑函数的化简方法：公式法和卡诺图法，最后介绍数字电路中用到的半导体器件。

1.1 数字电路概述

1.1.1 模拟信号和数字信号

在电子信息工程中，产生、传递、加工和处理的信号可以分成两大类：一类是：无论从时间上或者从信号的大小上看，其变化都是连续的，这一类信号称为模拟信号。图 1-1a、b 显示了两种典型的模拟信号，用以产生、传递、加工和处理模拟信号的电路称为模拟电路。模拟电路(如放大电路、正弦波振荡器等)属于模拟电子技术课程的学习内容。另一类是：无论从时间上或从信号的大小上看，其变化都是离散的，或者说的不连续的，这一类信号称为数字信号，如图 1-1c 所示。产生、传递、加工和处理数字信号的电路被称为数字电路，例如门电路、触发器、计数器和半导体存储器等。数字电路是本课程所要学习的内容。

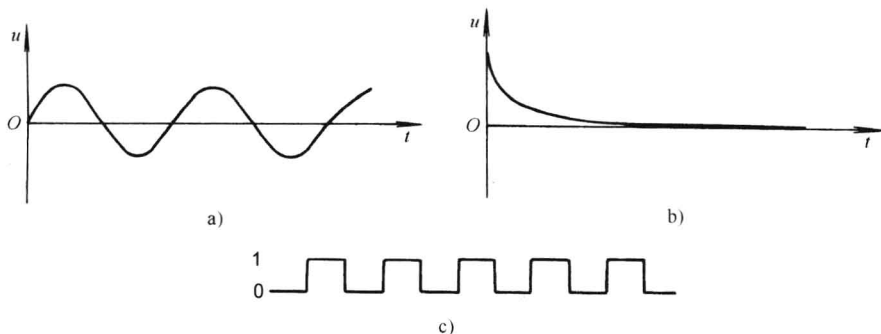


图 1-1 模拟信号和数字信号的波形图

a) 正弦波 b) 指数衰减波 c) 周期性数字信号波形

1.1.2 数字电路的特点

在数字电路中用数字**0**和**1**来表示数字信号。这里的**0**和**1**不是大家熟知的十进制数中的数字，而是逻辑**0**和逻辑**1**，因而称为二值数字逻辑。逻辑**0**和逻辑**1**反映在数字电路上就是高电平和低电平。表 1-1 列出了在正逻辑体系下，逻辑电平与数字电压值之间的对应关系^①。

表 1-1 逻辑电平与数字电压值之间的对应关系(正逻辑体系)

电压/V	二值数字逻辑	电 平
+5	1	H(高电平)
0	0	L(低电平)

二值数字逻辑的产生，是基于客观世界的许多事物可以用彼此相关而又互相对立的两种状态来描述。例如，是与非、真与假、开与关、低与高，等等。因为在数字电路中可用半导体器件的开关特性来实现，如二极管、三极管(包括双极型晶体管 BJT 和增强型 MOSFET)，它们都处于开关状态，时而导通，时而截止，所以，数字电路具有以下的一些特点：

1. 一般采用二进制数 在数字电路中，一般都采用二进制计数体制，因为 BJT 和 MOSFET 具有导通和截止两种稳定状态，可用二进制数的两个数码来表示，而且这样组成的基本单元电路结构简单，对电路中各元器件参数的精度要求不高，并允许有较大的分散性，只要能正确区分两种截然不同的状态即可。这一特点对于实现数字电路的集成化极为有利。

2. 抗干扰能力强，精度高 由于数字电路传递、加工和处理的都是二值逻辑电平，这就不易受到外界的干扰，因而电路的抗干扰能力较强。另外，数字电路还可以用增加二进制数的位数来提高电路的运算精度。

3. 便于长期存储，使用方便 二值数字信号便于长期存储的特点，使大量的信息资源得以妥善保存，并且调出使用方便。这对于计算机和数字信息存储、数据处理系统来说十分难能可贵。

4. 保密性好 在数字电路中可以进行保密处理，使可贵的信息资源不易被窃取。

5. 通用性强 可以采用标准的数字逻辑部件和可编程逻辑器件(PLD)来设计各种各样的数字系统，本书第 9 章将介绍的电子设计自动化(EDA)就是一例，这样设计方便，应用灵活。

由于数字电路具有上述优点，加之微电子技术及集成电路(IC)工艺技术的迅猛发展，使数字电路在计算机、通信系统、仪器仪表、数控技术、家电以及国民经济的各个领域都得到了广泛应用。目前，数字电子技术已成为工程技术人员所必须具备的基础知识。

1.1.3 数字电路的发展与分类

数字电路的发展与模拟电路一样，经历了由电子管、半导体分立器件到 IC 的过程。但

^① 表中表示的逻辑体系是正逻辑，即**1**表示高电平，**0**表示低电平。负逻辑体系则相反。有关正、负逻辑问题将在 2.6.1 节中专门介绍。本书如无特殊说明，一律采用正逻辑体系。

数字集成电路比模拟集成电路发展得更快。从20世纪60年代开始,数字集成器件用双极型工艺制成了小规模逻辑器件,随后发展到中、大规模逻辑器件;20世纪70年代末,超大规模集成电路——微处理器的出现,使数字集成电路的性能产生了质的飞跃。

目前,制备数字集成器件所用的材料以硅锗(SiGe)半导体为主,在高速数字集成电路中,也使用化合物半导体材料,例如砷化镓(GaAs)等。

逻辑门电路是一种重要的逻辑单元电路。TTL逻辑门电路问世较早,其工艺经过不断的改进,至今仍为主要的逻辑器件之一。随着MOS工艺,特别是CMOS(互补MOS)工艺的长足进展,TTL器件的主导地位有被CMOS器件所取代的趋势。

近十多年来,PLD特别是现场可编程门阵列(FPGA)的飞速发展,为数字电子技术开创了新局面。这些数字集成器件不仅规模大,而且将硬件与软件相结合,使数字集成电路的功能更加趋于完善,使用起来也更加灵活。

从集成度来说,数字集成电路可分为小规模(SSI)、中规模(MSI)、大规模(LSI)、超大规模(VLSI)和特大规模(ULSI)等5类数字集成电路^①。所谓单片集成度,是指每一块数字IC芯片所包含的BJT或MOSFET的个数。表1-2列出了5类数字集成电路的规模和分类依据。

表 1-2 5类数字集成电路的规模和分类依据

分 类	晶体管的个数	典型的数字集成电路
小规模	最多10个	逻辑门电路
中规模	10~100	计数器、全加器、译码器
大规模	100~1000	小型存储器、门阵列
超大规模	1000~10 ⁶	大型存储器、微处理器
特大规模	10 ⁶ 以上	可编程逻辑器件、多功能集成电路

由表1-2可见,存储器是基本数字部件之一,它的集成度很高。利用它可存储数据1或0,所存储数据可以取出分析或直接利用,例如打印机可从计算机的存储器里取出信息并打印在纸上。通常数字信息的存储视为将信息写入存储器,而信息恢复则理解为从存储器中读出信息。

总的来说,数字电路又可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。利用组合逻辑电路和时序逻辑电路可以控制、操作和运算数字系统的信息。有关这一方面的知识将在后续章节详细介绍。

近30年来,随着微电子技术和数字IC芯片集成度的不断提高,例如中央微处理器(CPU)的集成度大致是每6年提高8倍,动态随机读/写存储器(DRAM)的集成度是每6年提高12倍,伴随着计算机技术和EDA技术的迅速发展,为了分析、仿真和设计数字电路或系统,提高它们的性能-价格比,可采用硬件描述语言,例如ABEL、VHDL语言和ispDesign EXPERT软件包,借助计算机来实现电子设计自动化。尤其是在设计较复杂数字系统时,用硬件描述语言的优点将会更加突出。

① SSI、MSI、LSI、VLSI和ULSI分别是Small Scale Integration、Medium Scale Integration、Large Scale Integration、Very Large Scale Integration和Ultra-Large Scale Integration的缩写。

1.1.4 数字电路的分析方法

数字电路的主要研究对象是电路的输出与输入之间的逻辑关系，因而在数字电路中不能采用模拟电路的分析方法，例如微变等效电路法。由于数字电路中的器件处于开关状态，因而这里所采用的数学工具是逻辑代数，分析电路功能主要用逻辑表达式、特性表、真值表和波形图等。

1.2 计数制与编码

任何一个数通常都可以用两种不同的方法来表示：一种是按“值”表示法，即选定某种进位的计数体制来表示某个数值，这就是计数制。按“值”表示一个数时需要解决3个问题：一是选择恰当的“数字符号”及其组合规则；二是确定小数点的位置；三是正确表示出数的正、负号。另一种是按“形”表示法。所谓按“形”表示法，就是用一组由二进制数组成的代码来表示某些数值。按“形”表示法表示一个数时，先要确定编码规则，然后按此编码规则编出一组由二进制数组成的代码，并给每个代码赋以一定的含义，这就是编码。本节将简要介绍在数字电路中常用的几种计数制和编码方法。

1.2.1 常用的计数制及其相互转换规律

同一个数可以用不同进位的计数制来计量，在日常生活中，人们习惯于使用十进制计数制。而在数字电路中，采用的是二进制计数制和十六进制计数制。下面将分别讨论各种进位计数制的计数规则及其相互转换规律。

1. 十进制 十进制计数制简称十进制，它用0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9等10个数码的组合来表示一个数，当任何一位数比9大1时，则向相邻高位进1，而本位复0，这称为“逢十进一”。任何一个十进制数都可以用其幂的形式表示，例如：

$$\begin{aligned} 125.68 &= 1 \times 100 + 2 \times 10 + 5 \times 10^0 + 6 \times 0.1 + 8 \times 0.01 \\ &= 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

显然，任意一个十进制数 N 可以表示为

$$(N)_{10} = K_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + K_i \times 10^i + \cdots + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0 + K_{-1} \times 10^{-1} + K_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + K_{-m} \times 10^{-m} \quad (1-1)$$

式中， n, m 为正整数； K_i 为系数，是十进制10个数码中的某一个；10是进位基数； 10^i 是十进制数的位权 ($i = n-1, n-2, \cdots, 1, 0, \cdots, -m$)，它表示系数 K_i 在十进制数中的地位，位数越高，权值越大，例如 10^4 前的1表示10000，而 10^2 前的1表示100。对任意 R 进制数 $(N)_R$ 可表示为

$$(N)_R = K_{n-1} \times R^{n-1} + K_{n-2} \times R^{n-2} + \cdots + K_i \times R^i + \cdots + K_1 \times R^1 + K_0 \times R^0 + K_{-1} \times R^{-1} + K_{-2} \times R^{-2} + \cdots + K_{-m} \times R^{-m} \quad (1-2)$$

式中， R 为进位基数； R^i 为位权； K_i 为系数，是 R 个数码中的一个。

2. 二进制 二进制计数制简称二进制，它只有两个数字符号0和1，其计数规律为“逢二进一”，当1+1时，本位复0，并向相邻高位进1，即1+1=10(读作“壹零”)。二进制数