



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



“十二五”江苏省高等学校重点教材

数字电子 技术基础

第 3 版

◎ 主编 成立 王振宇

Fundamentals of
Digital Electronic Technology



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



“十二五”江苏省高等学校重点教材

数字电子技术基础

第3版

主 编 成 立 王振宇
参 编 陈 勇 刘跃峰 尹 星
主 审 胡仁杰 杨春玲



机械工业出版社

本书是编者根据教育部高等学校电工电子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,结合长期执教电气电子类专业电子技术课程的经验,根据第2版教材的使用情况认真修订(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、锁存器和触发器、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、数字电路虚拟实验与数字系统设计基础等。教材的主要知识点都配备有精选的例题和习题,为学生课后复习、练习和总结提供必需的资料。书末还配备有学习“数字电子技术基础”课程所需的附录和部分习题答案。此外,编者专门编写了与主教材配套的学习指导和题解书。

全书思路流畅,层次分明,文字精练,适合于理工科高等院校电气、电子信息类专业和机电、测控类专业(含自动化、电气工程、电子信息工程、电子信息科学与技术、生物医学工程、测控、机电一体化、光信息技术、农业电气化及自动化等)“数字电子技术基础”或“数字集成电路”等课程的教学工作,也可供从事电子信息技术和电气类专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/成立,王振宇主编.—3版.—北京:机械工业出版社,2016.2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 “十二五”江苏省高等学校重点教材(2014-1-060)

ISBN 978-7-111-52647-6

I. ①数… II. ①成… ②王… III. ①数字电路-电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第001599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 徐凡

责任校对:陈延翔 封面设计:张静

责任印制:李洋

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2016年2月第3版第1次印刷

184mm×260mm·22.5印张·554千字

标准书号:ISBN 978-7-111-52647-6

定价:46.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649 机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

第3版前言

《数字电子技术（第2版）》自2008年12月出版、使用以来，至今已有7年的时间。在此7年的时间内，教材曾5次印刷，印数超过20000册，深受广大师生的喜爱。此外，第2版教材作为江苏省精品课程“模拟和数字电子技术”的支撑材料，2010年以来相继获得了江苏大学教学成果奖、江苏省教学成果奖，2009年被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，2014年被评选为“十二五”江苏省高等学校重点教材建设项目。对此，编者深受激励和鼓舞，倍感修订第3版教材所肩负的重任。

首先，该版教材基于“数字电子技术”在电气、电子信息类和机电、测控类专业技术基础课程中的地位和作用，在原书名后增加了“基础”两个字，突出了技术基础课程教科书的属性。其次，编者根据电气、电子信息类和机电、测控类专业基础课程应完成的教学任务和原版教材的使用情况，本着修订版应满足21世纪数字电子技术快速发展的要求，经过参编教师多次讨论，逐步形成了以下的修订原则：

(1) 根据30多年来积累的教学经验，精益求精，适度更新内容，打造优质精品教材。第3版教材在培养学生运用所学知识分析问题、解决问题、实验动手的能力和 design 技能以及实行启发式、互动式教学和精讲多练等方面下了功夫。教材在调整并更新内容时，立足于电子创新设计活动和数字集成电路（IC）的应用；教学内容重点转移，难点分散，注重知识性与实用性的结合；做到授课学时数与重点、难点讲授章节相对应；例题和习题合理选配，章后习题与学习指导及题解书彼此呼应，方便于教学和学生设计时用书。

(2) 现代数字电路和数字系统已经基本不用中、小规模集成芯片搭建，而是采用 CPLD 或 FPGA 实现，甚至将数字系统集成在片上系统（SoC）上。但在设计数字电路以及用 CPLD 或 FPGA 实现时，又离不开逻辑门电路、组合和时序逻辑电路等中、小规模集成芯片。所以，第3版教材在精炼并弱化中、小规模集成芯片的同时，将门电路、组合和时序逻辑电路等作为宏模型介绍，着重介绍它们的外部逻辑功能，适当增加大规模集成电路应用技术的内容，例如重新编写了第6.5节可编程逻辑器件（PLD），包括 CPLD、FPGA 和 ISP-PLD 等芯片的应用知识，改编了第9章数字电路虚拟实验与数字系统设计基础等内容。

(3) 因为 CMOS 集成电路业已成为数字电路的主流产品，且便携式设备、消费性电子产品的电源电压越来越低，致使低电压、超低电压集成电路的广泛使用。基于此，教材在讲解顺序、应用层次和题目选配上都突出了 CMOS 集成芯片的内容介绍，同时部分削减了 TTL 系列产品的内容。例如第2章采用了“先 CMOS 后 TTL 电路”的写法，还在第2、3、4、5、6、8等章节中增加了 CMOS 芯片介绍和应用题的比例。

(4) 第3版教材写进了介绍教师科研成果、指导毕业设计和课程设计、指导大学生科研立项课题和赛前指导电子设计活动的内容，编入了反映电子技术领域新技术、新进展、集成电路新品研发的章节内容，例如写进数字技术的发展及其应用、新型的 BiCMOS 逻辑门电路、新颖的集成 555 定时器综合应用题等，做到科技活动反哺于教学，教学又反过来推进学生开展科研活动，力求做到举一反三、融会贯通，最大限度地调动师生的教学热情。

(5) 将广泛查阅、并经过比对的数字电路应用题和设计题写入教材，每一章都选配有灵活、新颖的练习题。全书重新筛选了例题和章后习题，特别是选择题和应用题，并配套新编了《数字电子技术基础学习指导与习题解答》一书。

(6) 凡是打“*”的章节和练习题可作为选讲或自学内容。这部分内容提供给兄弟院校参考。

全书修订(编写)分工如下：江苏大学成立、王振宇担任主编，成立编写前言和第2、3章，并负责全书的统稿和定稿等工作；尹星编写第1、9章；王振宇编写第4、5章和部分习题答案；刘跃峰编写第6章和附录；陈勇编写第7、8章。

江苏省教育厅高等教育处委托东南大学胡仁杰教授、哈尔滨工业大学杨春玲教授担任主审，参加审稿的还有东南大学堵国樑教授、江苏科技大学张允赛教授、田雨波教授。各位教授审阅了全部书稿，提出了许多宝贵的意见和建议，给编者以启示，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妥之处，恳请读者们予以批评指正。

编者

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，深受高校工科电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，华北工学院王康谊副教授参编第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3版前言

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 数字信号与数字电路	1
1.1.1 模拟信号和数字信号	1
*1.1.2 数字技术的发展及其应用	2
1.1.3 数字集成电路的特点及其分类	4
1.1.4 数字电路的分析方法	6
1.2 数制与编码	6
1.2.1 常用的计数制及其相互转换规律	7
1.2.2 编码	8
1.3 逻辑代数基础	9
1.3.1 逻辑代数的3种基本运算	9
1.3.2 逻辑代数的基本公式和常用公式	12
1.3.3 逻辑代数的基本规则	13
1.4 逻辑函数的建立及其表示方法	13
1.5 逻辑函数的化简	14
1.5.1 逻辑函数的最简形式	14
1.5.2 逻辑函数的公式化简法	15
1.5.3 用卡诺图化简逻辑函数	15
1.6 具有无关项逻辑函数的化简	19
1.7 数字电路中的半导体器件	20
1.7.1 本征半导体	20
1.7.2 杂质半导体	21
1.7.3 PN结及其单向导电性	22
1.7.4 半导体二极管	24
1.7.5 双极型晶体管	27
1.7.6 增强型绝缘栅场效应晶体管	34
习题1	37
第2章 集成逻辑门电路	40
引言	40
2.1 基本逻辑门电路	40

2.1.1	二极管与门及或门电路	40
2.1.2	非门电路 (BJT 反相器)	41
2.2	CMOS 逻辑门电路	42
2.2.1	CMOS 反相器	42
2.2.2	常用的 CMOS 门电路	44
2.2.3	CMOS 传输门和双向模拟开关	45
2.2.4	CMOS 漏极开路门及三态门	46
2.2.5	CMOS 三态门的应用	48
2.2.6	CMOS 逻辑门的主要技术参数	49
2.3	TTL 逻辑门电路	52
2.3.1	TTL 与非门电路结构和工作原理	52
2.3.2	TTL 或非门	55
2.3.3	TTL 系列门电路的技术参数	55
2.3.4	TTL 集电极开路门和三态门	58
*2.4	射极耦合逻辑门电路 (ECL 门)	62
2.5	BiCMOS 门电路	64
2.5.1	BiCMOS 反相器	64
2.5.2	其他的 BiCMOS 门电路	65
2.6	逻辑门电路使用中的几个问题	65
2.6.1	正负逻辑问题	65
2.6.2	实际使用逻辑门的处理措施	66
2.6.3	逻辑门电路综合分析例	67
	习题 2	69
第 3 章	组合逻辑电路	76
	引言	76
3.1	组合逻辑电路概述	76
3.2	组合逻辑电路的分析方法	76
3.2.1	分析组合逻辑电路的大致步骤	76
3.2.2	几种常用的集成组合逻辑电路	77
3.3	组合逻辑电路设计	82
3.3.1	概述	82
3.3.2	组合逻辑电路的设计方法	82
3.4	用小规模集成电路 (SSI) 设计组合逻辑电路	83
3.4.1	设计组合逻辑电路的大致步骤	83
3.4.2	组合逻辑电路设计举例	83
3.4.3	编码器	84
3.4.4	译码器	88
3.4.5	数值比较器	96
*3.5	组合逻辑电路中的竞争 - 冒险	98

3.5.1	产生竞争 - 冒险的原因	99
3.5.2	消除竞争 - 冒险的方法	100
3.6	用 MSI 芯片设计其他的组合逻辑电路	100
3.6.1	用集成数据选择器实现其他组合逻辑功能	101
3.6.2	用译码器实现多种组合逻辑功能	104
3.6.3	用全加器实现多种组合逻辑功能	106
3.7	组合逻辑电路综合应用例	108
	习题3	110
第4章	锁存器和触发器	116
	引言	116
4.1	概述	116
4.2	基本 SR 锁存器	116
4.2.1	用与非门构成的基本 SR 锁存器	117
4.2.2	用或非门构成的基本 SR 锁存器	119
4.2.3	集成基本 SR 锁存器	119
4.3	时钟触发器	121
4.3.1	门控 SR 锁存器	121
4.3.2	主从触发器	123
4.3.3	几种常用的边沿触发器	126
4.4	T 触发器和 T' 触发器	134
4.4.1	T 触发器	134
4.4.2	T' 触发器	134
4.5	触发器应用举例	134
	习题4	136
第5章	时序逻辑电路	142
	引言	142
5.1	概述	142
5.2	时序逻辑电路的分析方法	143
5.2.1	分析时序逻辑电路的大致步骤	143
5.2.2	寄存器和移位寄存器	143
5.2.3	计数器	149
5.3	时序逻辑电路设计	166
5.3.1	3 种设计方法	166
5.3.2	一般同步时序逻辑电路的设计方法	166
5.4	MSI 时序逻辑器件的应用	177
5.4.1	MSI 计数器芯片的应用	177
5.4.2	MSI 寄存器芯片的应用	184
	习题5	186
第6章	半导体存储器和可编程逻辑器件	193

引言	193
6.1 半导体存储器	193
6.1.1 半导体存储器的特点	193
6.1.2 半导体存储器的分类	193
6.1.3 半导体存储器的主要技术指标	194
6.2 随机存取存储器 (RAM)	194
6.2.1 RAM 的结构	194
6.2.2 RAM 的存储单元	196
6.3 只读存储器 (ROM)	199
6.3.1 ROM 的结构	199
6.3.2 掩模式只读存储器 (固定 ROM)	200
6.3.3 可编程只读存储器 (PROM)	202
6.3.4 可擦除可编程只读存储器 (EPROM)	203
6.4 存储器容量的扩展	207
6.5 可编程逻辑器件 (PLD)	209
6.5.1 PLD 概述	209
6.5.2 可编程阵列逻辑 (PAL)	212
6.5.3 通用阵列逻辑 (GAL)	215
6.5.4 复杂可编程逻辑器件 (CPLD)	220
6.5.5 现场可编程门阵列 (FPGA)	225
6.5.6 在系统可编程逻辑器件 (ISP-PLD)	232
*6.5.7 可编程逻辑器件的开发技术简介	235
习题6	236
第7章 数-模与模-数转换器	238
引言	238
7.1 D-A 转换器	238
7.1.1 D-A 转换器及其主要参数	238
7.1.2 权电流型 D-A 转换器	240
7.1.3 倒 T 形电阻网络 D-A 转换器	240
7.1.4 模拟电子开关	241
7.2 A-D 转换器	244
7.2.1 A-D 转换的一般工作过程	244
7.2.2 并行比较型 A-D 转换器	246
7.2.3 逐次逼近型 A-D 转换器	248
*7.2.4 双积分式 A-D 转换器	251
7.2.5 A-D 转换器主要技术指标	253
*7.2.6 集成 A-D 转换器及其应用	254
习题7	257
第8章 脉冲波形的产生与变换	260

引言	260
8.1 实际的矩形波电压及其参数	260
8.2 集成 555 定时器	261
8.2.1 集成 555 定时器简介	261
8.2.2 集成定时器 CC7555 的内部逻辑电路	261
8.2.3 CC7555 的工作原理	262
8.3 施密特触发器	263
8.3.1 用 555 定时器构成施密特触发器	263
8.3.2 集成施密特触发器	265
*8.3.3 用 TTL 门组成施密特触发器	266
8.4 单稳态触发器	268
8.4.1 555 定时器构成单稳态触发器	269
8.4.2 集成单稳态触发器	271
*8.4.3 用门电路组成的积分型单稳态触发器	273
8.5 多谐振荡器	275
8.5.1 555 定时器构成多谐振荡器	275
8.5.2 石英晶体振荡器	278
8.6 脉冲信号产生与变换电路综合应用举例	280
习题 8	286
第 9 章 数字电路虚拟实验与数字系统设计基础	291
引言	291
9.1 Multisim10.0 使用方法简介	291
9.1.1 数字电路模拟用虚拟仪表介绍	291
9.1.2 放置元件的方法	296
9.1.3 连线操作	296
9.1.4 基本数字电路分析与设计举例	298
9.2 数字系统设计基础	305
9.2.1 用 EDA 设计数字系统的一般流程	306
9.2.2 硬件描述语言 Verilog HDL 简介	306
9.2.3 Verilog HDL 的基本元素	307
9.2.4 Verilog HDL 的语法结构	309
9.2.5 Verilog HDL 描述数字逻辑电路例	317
9.2.6 用 ModelSim 软件仿真数字系统	321
习题 9	325
附录	326
附录 A 美国标准信息交换码 (ASCII)	326
附录 B 二进制数算术运算	326
B.1 二进制数加法	326
B.2 二进制数减法	327

B.3	二进制数乘法	327
B.4	二进制数除法	327
B.5	用带符号位的二进制数实现减法运算	327
B.5.1	带符号位的二进制数	327
B.5.2	补码的概念	327
B.5.3	二进制数的模2补码及减法运算	328
附录C	国内外常用逻辑符号对照表	328
附录D	TTL和CMOS逻辑门电路主要技术参数	330
附录E	二进制逻辑单元图形符号简介 (GB/T 4728.12—2008)	331
E.1	二进制逻辑单元图形符号的组成	331
E.1.1	方框	331
E.1.2	限定符号	331
E.2	逻辑状态及其约定	333
E.2.1	内部逻辑状态和外部逻辑状态	333
E.2.2	逻辑状态和逻辑电平之间的关系	334
附录F	国产半导体集成电路型号命名法 (GB3430—1989)	334
F.1	型号的组成	335
F.2	示例	335
附录G	常用ADC和DAC芯片简介	336
附录H	电阻器型号、名称和标称系列	337
H.1	电阻器型号名称对照	337
H.2	电阻器(电位器)标称系列及其误差	338
部分习题答案		339
参考文献		343

第 1 章 数字电路基础

引言 随着现代电子技术的发展, 21 世纪的人们正处于电子信息时代。人们在每天的工作、学习和生活中, 都可以通过广播、电视、互联网和智能手机等多种媒体获取大量的信息。而现代信息的存储、处理和传输越来越趋于数字化。人们常用的计算机、电视机、音像设备、手机、视频记录仪、远距离通信等电子设备或电子系统, 无一不采用数字电路或数字系统。因此, 数字电子技术与人类关系越来越密切, 应用自然也就越来越广泛。

本章首先概述数字信号和数字电路、数制和编码、数字技术发展和应用等内容, 然后讨论逻辑代数的应用知识, 接着讲解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常用的半导体器件。本章将为学习数字电子技术全课程打下基础。

1.1 数字信号与数字电路

1.1.1 模拟信号和数字信号

1. 模拟信号

人们在自然界获取的许多物理量, 比如速度、压力、温度、声音和位置等, 都具有一个共同的特点, 即无论从时间上看, 还是从信号幅度上看, 其变化都是连续的, 这些物理量被称为模拟量。当然, 表示模拟量的电信号称为模拟信号, 处理模拟信号电子电路即为模拟电路。在工程技术中, 为了便于处理和分析, 通常用传感器将模拟量转换为与之成比例的电压或电流, 然后再输入电子系统作进一步处理。图 1-1a 给出了用热电偶获取的模拟电压信号 u 的波形图。

2. 数字信号

与模拟量相对应的另一类物理量称为数字量。它们在一系列离散时刻取值, 数值大小和每次的增减都是量化单位的整数倍, 即它们是一系列时间离散、信号大小也不连续的信号, 此类信号被称为数字信号。工程技术上将工作于数字信号下的电子电路称为数字电路。

举例来说, 用温度计测量某一天内的温度变化, 仅在整点时刻读取数据, 且对数据进行量化。若此温度计的读数为 $30.35\cdots^{\circ}\text{C}$, 取 1°C 作为量化单位, 则温度记录值为 30°C 。如此记录, 一天内温度在时间和数值上都是离散的, 因为温度以 1°C 为单位增减。显然, 用数字信号可以表示各种物理量的大小, 只是存在着一定的误差。此误差取决于量化单位大小的选择。

随着计算机的广泛应用, 绝大多数电子系统都采用计算机对信号进行处理。由于计算机无法直接处理模拟信号, 所以需将模拟信号转换成数字信号。

3. 模拟量的数字表示

图 1-1 给出模拟信号转换成数字信号中的几幅波形图。首先对图 1-1a 的模拟信号取样。图 1-1b 显示了此模拟信号经过取样电路后, 变成时间离散、幅值连续的取样信号, 图中 t_0 、

t_1 、 t_2 、 \dots 为取样时间点。此处，幅值连续指各取样点的幅值没有变化，仍然与对应的模拟信号幅值相同，例如图 1-1a 和图 1-1b 中 t_1 处的幅值均为模拟量 0.915V。然后对取样信号进行量化，即数字化。接着选取一个量化单位，将取样信号除以量化单位并取整数结果，得到时间离散、数值也离散的数字量。最后对所得数字量进行编码，生成用 0 和 1 表示的数字信号，如图 1-1c 所示。图中以 0.1V 作为量化单位，对 t_1 处的幅值 0.915V 进行量化，量化后的数值为 9。对应的 8 位二进制数为 00001001。如果取样点足够多，而量化单位足够小，则数字信号即比较真实地反映出模拟信号。有关模-数和数-模转换的讨论详见第 7 章的内容。

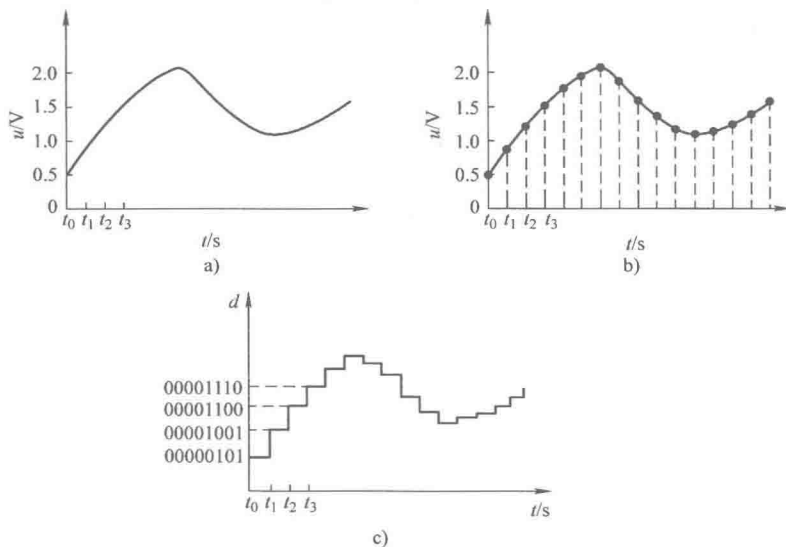


图 1-1 模拟量的数字表示

a) 模拟电压信号 b) 取样信号 c) 数字信号

* 1.1.2 数字技术的发展及其应用

电子技术是 20 世纪中期以来发展最迅速、应用最广泛的技术之一，如今已渗透到人类生活的各个方面，特别是数字电子技术现已取得了令人感叹的进展。

电子技术的发展是以开发电子器件为基础的。20 世纪初期直至中期，人们主要采用真空管，亦称电子管。随着固体电子学的研究与进展，第一只晶体管于 1947 年问世，开创了电子技术的新领域。随后，20 世纪 60 年代后期场效应晶体管应运而生，模拟和数字集成电路产品相继上市。20 世纪 70 年代末微处理器问世，电子器件应用出现了崭新的局面。到 20 世纪 80 年代末，微处理器每个芯片晶体管数目突破百万大关；20 世纪 90 年代末，制造出包含有千万个晶体管的芯片。然而，当前的工艺技术可在芯片上集成几十亿个晶体管。在过去 40 多年间，集成电路的集成度和性能以惊人的速度发展着，从而印证了摩尔定理，即单个芯片上集成的晶体管数量每 18 个月翻一番。当今以集成电路为核心的电子信息产业已超过汽车、石油和钢铁工业，成为第一大产业。

数字技术应用的典型代表是电子计算机，它伴随着电子技术的进展而发展，经历了电子管、晶体管、集成电路和超大规模集成电路 4 个发展阶段，目前它的体积越来越小，功能越来越强，价格越来越低，应用范围越来越广，正朝着智能化的方向发展。实际上计算机技术的影响遍及人类经济、生活各个领域，由此掀起了一场“数字革命”。数字技术已被广泛应