



高职高专“十一五”规划教材
机电系列·电子信息类

数字电子技术基础

SHUZIDIANZIJIISHU JICHU

刘国巍 主 编
周晓萍 副主编
周 莉 主 审

国防科技大学出版社



清华大学出版社
Tsinghua University Press

数字电子技术基础

(第2版) (第2次印刷) (2019年11月)

作者：王 勇
主编：王 勇
副主编：王 勇



高职高专“十一五”规划教材

机电系列·电子信息类

数字电子技术基础

刘国巍 主 编
周晓萍 副主编
周 莉 主 审

国防科技大学出版社

【内容简介】数字电子技术是一门重要的基础性技术课程。本教材共分八章,主要包括数字逻辑基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、数/模转换和模/数转换、半导体存储器和可编程逻辑器件等。

本书以“理论够用、实用为主、注重实践”的教学思想而编写,着重介绍数字电路的新理论、新技术、新器件。对数字电路的常用集成电路作了比较详细的介绍。本书在编写过程中,力求简明扼要,通俗易懂。书中给出了大量的例题和习题,便于学生练习和自学。

本书可作为高职高专院校电子信息类及其相关专业的数字电子技术课程的教材,也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/刘国巍主编. —长沙:国防科技大学出版社,2008.6

(高职高专“十一五”规划教材·机电系列)

ISBN 978-7-81099-506-1

I. 数… II. 刘… III. 数字电路—电子技术 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 062458 号

出版发行:国防科技大学出版社

电 话:(0731)4572640

网 址:<http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑:唐卫威 特约编辑:李斐然

印刷者:北京振兴源印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:15.00

字 数:352 千字

版 次:2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

定 价:25.00 元

高职高专“十一五”规划教材·机电系列

编审委员会

主 任 毕卫红 燕山大学信息学院

副 主 任 陈 旭 中科院半导体研究所

陈娟娟 清华大学信息科学技术学院

委 员 (以姓氏笔画为序)

王玉宝 白 健 刘玉良 刘国巍 刘黎明

孙 霞 李华龙 李 昕 李宝祥 辛元芳

张 卫 张 志 周 莉 周晓萍 赵苍荣

徐 红 郭来功 黄咏华 曹 成 龚 亮

梁 静 蒋亚萍 韩红梅 曾忠平

课程审定 唐立军 长沙理工大学物理与电子科学学院

内容审定 卢莹莹 清华大学信息科学技术学院

张文明 北京邮电大学电信工程学院

出版说明

高职高专教育作为我国高等教育的重要组成部分,承担着培养高素质技术、技能型人才的重任。近年来,在国家和社会的支持下,我国的高职高专教育取得了不小的成就,但随着我国经济的腾飞,高技能人才的缺乏越来越成为影响我国经济进一步快速健康发展的瓶颈。这一现状对于我国高职高专教育的改革和发展而言,既是挑战,更是机遇。

要加快高职高专教育改革的步伐,就必须对课程体系和教学模式等问题进行探索。在这个过程中,教材的建设与改革无疑起着至关重要的基础性作用,高质量的教材是培养高素质人才的保证。高职高专教材作为体现高职高专教育特色的知识载体和教学的基本工具,直接关系到高职高专教育能否为社会培养并输送符合要求的高技能人才。

为促进高职高专教育的发展,加强教材建设,教育部在《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》中,提出了“重点建设好3 000种左右国家规划教材”的建议和要求,并对高职高专教材的修订提出了一定的标准。为了顺应当前我国高职高专教育的发展潮流,推动高职高专教材的建设,我们精心组织了一批具有丰富教学和科研经验的人员成立了高职高专“十一五”规划教材编审委员会。

编审委员会依据教育部高教司制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》,调研了百余所具有代表性的高等职业技术学院和高等专科学校,广泛而深入地了解了高职高专的专业和课程设置,系统地研究了课程的体系结构,同时充分汲取各院校在探索培养应用型人才方面取得的成功经验,并在教材出版的各个环节设置专业的审定人员进行严格审查,从而确保了整套教材“突出行业需求,突出职业的核心能力”的特色。

本套教材的编写遵循以下原则:

(1) 成立教材编审委员会,由编审委员会进行教材的规划与评审。

(2) 按照人才培养方案以及教学大纲的需要,严格遵循高职高专院校各学科的专业规范,同时最大程度地体现高职高专教育的特点及时代发展的要求。因此,本套教材非常注重培养学生的实践技能,力避传统教材“全而深”的教学模式,将“教、学、做”有机地融为一体,在教给学生知识的同时,强化了对学生实际操作能力的培养。

(3) 教材的定位更加强调“以就业为导向”,因此也更为科学。教育部对我国的高职高专教育提出了“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则。根据这一原则,本套教材在编写过程中,力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论灌输,充分体现出“以行业为导向,以能力为本,以学生为中心”的风格,从而使本套教材更具实用性和前瞻性,与就业市场结合也更为紧密。

(4) 采用“以案例导入教学”的编写模式。本套教材力图突破陈旧的教育理念,在讲解的过程中,援引大量鲜明实用的案例进行分析,紧密结合实际,以达到编写实训教材的

目标。这些精心设计的案例不但可以方便教师授课,同时又可以启发学生思考,加快对学生实践能力的培养,改革人才的培养模式。

本套教材涵盖了公共基础课系列、计算机系列和机电系列的主要课程。目前已经规划的教材系列名称如下:

公共基础课系列

- 公共基础课

机电系列

- 机械类
- 数控类
- 电子信息类

计算机系列

- 计算机公共基础课
- 计算机专业基础课
- 计算机网络技术专业
- 计算机软件技术专业
- 计算机应用技术专业

对于教材出版及使用过程中遇到的各种问题,欢迎您通过电子邮件及时与我们取得联系(联系方式详见“教师服务登记表”)。同时,我们希望有更多经验丰富的教师加入到我们的行列当中,编写出更多符合高职高专教学需要的高质量教材,为我国的高职高专教育做出积极的贡献。

高职高专“十一五”规划教材编审委员会

前 言

数字电子技术是一门重要的专业基础课，它不仅涵盖了大量的基础理论知识，还和实践环节密切相关，具有较强的应用性。本书参照教育部制定的《高等学校工程专科电子技术课程教学基本要求》，以培养应用型人才为目标，在内容编写上做到通俗易懂，力求在保证掌握必要的基本理论知识和基本技能的基础上，贯彻高职教学“以应用为目的，以必需、够用为度，掌握概念，强化应用”的原则，以跟上电子技术和高职高专教育的发展形势。本书在编写时注意突出了以下几点：

1. 阐明基本概念，文字表述注重条理清晰，浅显易懂，使学生易于理解、记忆。并且考虑到学生的学习基础，尽可能避免大量的理论分析和数学公式推导。对一些重要的参数和特性不过于深究，而是侧重于把握其内在含义，学会对已有结论的认识和应用。

2. 当今电子器件的生产应用越来越趋向于集成化，中小规模数字集成电路的应用已趋于成熟，大规模专用集成电路更是大量涌现。本书除了部分电路利用分立元件介绍原理性的概念外，主要以介绍集成电路为重点，并且以使用比较广泛、成熟的典型芯片为主。附录中还给出了部分常见的 CMOS 和 TTL 系列产品一览表，以便于比较、使用。

3. 淡化器件内部结构，对于较复杂的器件也仅仅通过功能框图的形式介绍其功能的实现机理，更多的是侧重于从符号、引脚、功能表等整体上把握器件的使用方法，再结合典型芯片的应用实例进行分析，以利于学生举一反三，提高解决问题的能力。

4. 注重吸收新知识、新技术。例如各种高科技电子产品尤其是公司对新产品的设计开发中对于可编程逻辑器件的使用日益广泛，其涉及范围较广，设计方法新颖，软硬件相结合，本书对这些器件也做了知识性的介绍，并对器件的特点进行比较，使学生对 CPLD/FPGA 等新器件及其设计方法有所了解，便于加强后续学习的针对性。

5. 在每章结束设有本章小结，对重要的知识点进行归纳比较，并配有适量有针对性的习题，便于练习巩固所学知识。为加强实践环节，结合各部分理论知识，编排有相应的实验放在网络上供选用，在内容上尽量淡化教学设备对实验的影响，注重对学生实际动手能力的培养。

本书由刘国巍任主编，周晓萍任副主编，孙霞、辛元芳、李昕参加编写。第 1、3、7 章由刘国巍编写，第 2 章由李昕编写，第 4、5 章由孙霞编写，第 6 章由辛元芳编写，第 8 章由周晓萍编写。曹成、刘玉良、李华龙、张志等人参与了电路图的绘制，在此对他们的辛勤工作表示衷心感谢！

由于编者的教学经验和学术水平有限，且时间比较仓促，书中的不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

本书常用符号表

		B	
B	磁感应强度	特斯拉	T
BCD	二-十进制码		
BW	带宽	赫兹	Hz
		C	
C	电容	法拉	F
C_{ext}	外接电容端		
CLK	时钟		
CP	时钟信号输入		
CR	清零		
		E	
EI	使能输入端		
EN	允许(使能)		
		I	
I	电流	安培	A
I_R	反向饱和电流	安培	A
i_B	基极瞬时电流	安培	A
i_C	集电极瞬时电流	安培	A
i_D	漏极瞬时电流	安培	A
		O	
OC	集电极开路门		
		R	
R	电阻	欧姆	Ω
R_L	负载电阻	欧姆	Ω
		T	
t_w	脉冲宽度		
		U	
U	电压	伏特	V
U_{BB}	基极回路的直流电源	伏特	V
U_{CC}	集电极回路电源	伏特	V
U_{IH}	输入高电平	伏特	V
U_{IL}	输入低电平	伏特	V
u_i	输入电压	伏特	V
u_o	输出电压	伏特	V

目 录

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 概 述	1
1.1.1 模拟信号和数字信号	1
1.1.2 数字电路	2
1.1.3 数字电路特点	3
1.2 数制及二进制代码	3
1.2.1 进位计数制	3
1.2.2 不同进制之间的转换	4
1.2.3 二进制代码	5
1.3 逻辑代数基础	7
1.3.1 基本逻辑运算	7
1.3.2 基本定律、公式和常用规则	11
1.4 逻辑函数及其化简	13
1.4.1 逻辑函数表达式	13
1.4.2 逻辑函数的代数化简法	14
1.4.3 逻辑函数的卡诺图化简法	15
本章小结	20
习题 1	21
第 2 章 集成逻辑门电路	24
2.1 分立元件门电路	24
2.1.1 晶体管开关特性	24
2.1.2 基本晶体管门电路	28
2.2 TTL 集成逻辑门电路	31
2.2.1 TTL 与非门电路	32
2.2.2 TTL 集电极开路门和三态门电路	37
2.2.3 TTL 集成电路的系列产品	40
2.3 CMOS 集成逻辑门电路	41
2.3.1 MOS 开关及其等效电路	41
2.3.2 常用 CMOS 逻辑门电路	42
2.3.3 CMOS 逻辑门系列	45
2.4 集成门电路的应用注意事项	46
2.4.1 TTL 门电路使用注意事项	46

2.4.2	CMOS 门电路的使用注意事项	47
2.4.3	门电路之间的接口问题	47
2.4.4	需要注意的其他事项	49
本章小结		49
习题 2		51
第 3 章	组合逻辑电路	54
3.1	概 述	54
3.2	组合逻辑电路的分析与设计	54
3.2.1	组合逻辑电路的分析方法	54
3.2.2	组合逻辑电路的设计方法	56
3.3	典型的组合逻辑集成电路	58
3.3.1	编码器	58
3.3.2	译码器	62
3.3.3	数据分配器和数据选择器	68
3.3.4	数值比较器	72
3.3.5	加法器	75
3.4	组合逻辑电路中的竞争冒险	78
3.4.1	产生竞争冒险的原因	78
3.4.2	消除竞争冒险的方法	80
本章小结		81
习题 3		82
第 4 章	集成触发器	85
4.1	概 述	85
4.2	基本 RS 触发器	85
4.2.1	基本 RS 触发器工作原理	85
4.2.2	触发器的功能描述	86
4.3	同步触发器	88
4.3.1	同步 RS 触发器	88
4.3.2	同步 D 触发器	89
4.3.3	同步 JK 触发器	89
4.3.4	同步 T 触发器	90
4.4	主从触发器	91
4.4.1	主从 RS 触发器	91
4.4.2	主从 JK 触发器	92
4.5	边沿触发器	94
4.5.1	维持-阻塞边沿触发器	94
4.5.2	利用传输延迟的边沿触发器	95

4.6 集成触发器的选择及应用	96
4.6.1 触发器的主要指标	96
4.6.2 集成触发器 74HC74	97
4.6.3 集成触发器 CC4027	99
4.6.4 集成触发器的应用	100
本章小结	101
习题 4	103
第 5 章 时序逻辑电路	107
5.1 概 述	107
5.2 时序逻辑电路的分析	109
5.2.1 同步时序逻辑电路分析的一般步骤	109
5.2.2 同步时序逻辑电路分析举例	109
5.2.3 异步时序逻辑电路的分析	113
5.3 寄存器和移位寄存器	115
5.3.1 寄存器	115
5.3.2 移位寄存器	117
5.3.3 寄存器应用举例	118
5.4 计数器	120
5.4.1 异步计数器和同步计数器	120
5.4.2 集成计数器	121
5.4.3 计数器应用举例	126
本章小结	128
习题 5	129
第 6 章 脉冲波形的产生与整形	133
6.1 脉冲电路概述	133
6.2 单稳态触发器	133
6.2.1 门电路构成的单稳态触发器	134
6.2.2 集成单稳态触发器	136
6.3 施密特触发器	140
6.3.1 门电路构成的施密特触发器	140
6.3.2 集成施密特触发器	142
6.3.3 施密特触发器的应用	143
6.4 多谐振荡器	144
6.4.1 门电路组成的多谐振荡器	144
6.4.2 石英晶体振荡器	145
6.5 555 定时器	146
6.5.1 555 定时器的结构与功能	146
6.5.2 555 定时器的典型应用	148

本章小结	153
习题 6	154
第 7 章 数/模和模/数转换电路	157
7.1 概 述	157
7.2 D/A 转换器	158
7.2.1 D/A 转换器的基本原理	158
7.2.2 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	159
7.2.3 D/A 转换器的主要技术指标及其应用	161
7.3 A/D 转换器	165
7.3.1 A/D 转换器的基本原理	165
7.3.2 常见 A/D 转换器类型	167
7.3.3 A/D 转换器的主要技术指标及其应用	169
本章小结	172
习题 7	173
第 8 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	175
8.1 半导体存储器	175
8.1.1 只读存储器	175
8.1.2 随机存取存储器 RAM	180
8.1.3 存储器容量的扩展	183
8.2 可编程逻辑器件	185
8.2.1 概 述	185
8.2.2 低密度可编程逻辑器件及其应用	187
8.2.3 高密度可编程逻辑器件及其应用开发	192
本章小结	197
习题 8	198
部分习题答案	200
附 录	202
附录 A VHDL 语言简介	202
附录 B-1 美国信息交换标准编码 ASCII 表	204
附录 B-2 国产半导体集成电路型号命名法	205
附录 B-3 TTL 器件及 CMOS 器件一览表	206
附录 B-4 常用逻辑符号对照表	213
附录 C 常用专业词语中英文对照表	216
附录 D 总复习题	220
参考文献	224

第 1 章 数字逻辑基础

随着数字电子技术的快速发展,数字通信系统、高清晰数字电视、数字视听设备、数控机床等越来越多的数字化产品进入到我们工作和生活的各个领域,让我们的生产、生活以及思维方式悄悄地发生着变革,那么,数字电子技术究竟是一门什么样的技术呢?为什么它能在近几十年取得如此瞩目的变化?现在就让我们一起探索其中的奥秘吧!

1.1 概 述

1.1.1 模拟信号和数字信号

自然界中存在各种各样的物理量,从变化规律来看,大致可以分为模拟量和数字量两大类。模拟量具有时间上连续变化、值域内任意取值的特点,如温度、速度、压力、交流电压等就是典型的模拟量,数字量具有时间上离散变化、数值也离散取值的特点,例如机床上记录零件个数的计数信号就是典型的数字量,在电子设备中,无论是数字量还是模拟量都是以电信号形式出现的,用于表示模拟量的电信号称为模拟信号,如图 1.1(a) 所示,模拟信号不易于进行存储、处理和传输。用于表示数字量的电信号称为数字信号,如图 1.1(b) 所示。

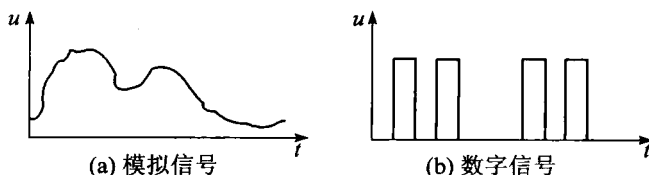


图 1.1 模拟信号和数字信号

数字信号在时间上和数值上均是离散的,常用数字 0 和 1 表示,这里的 0 和 1 是一种符号,称为逻辑 0 和逻辑 1,用来表示客观世界中相互关联又相互对立的两种状态,如高低、真假、开关等,因而称之为二值数字逻辑,简称数字逻辑。数字逻辑在电路中可以很方便地通过电子器件的开关特性来实现,也就是用高、低电平分别表示逻辑 1 和逻辑 0 两种状态,表 1.1 所示为电压与逻辑电平的一种对照关系。

表 1.1 电压与逻辑电平的关系

电 压	二值逻辑	逻辑电平
+5V	1	H(高电平)
0V	0	L(低电平)

表中用“1”表示高电平,“0”表示低电平,这是一种正逻辑;反之,则称为负逻辑,除特别说明外,本书都是采用正逻辑表示方法。

图 1.2 所示为信号 11010100 的数字波形,即数字信号用逻辑电平对时间的图形表示,--

一般都画成理想波形表示高低电平所经历的时间,其中1和0每位数据占用的最小时间为位时间,我们常说的比特率就是每秒钟所传输的数据位数,也称为数据率。

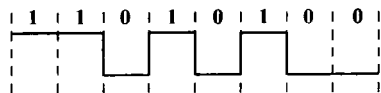


图 1.2 数字信号的传输波形

数字信号是一种脉冲信号,理想的脉冲波形突变部分是瞬时的,不占用时间,如图 1.2 所示的方波信号,但在实际波形中,脉冲电压从零值跃变到最大值时或从最大值跃变到零时都需要经过一定的时间,如图 1.3 所示,从脉冲幅值的 10% 到 90% 所经历的时间称为脉冲波形的上升时间 t_r ,从脉冲幅值的 90% 下降到 10% 所经历的时间称为脉冲波形的下降时间 t_f 。把脉冲幅值的 50% 的两个时间点之间的部分称为脉冲宽度 t_w ,它表示脉冲持续的时间,它占整个周期的百分比就称为占空比 q , $q(\%) = \frac{t_w}{T} \times 100\%$,是一个常用参数,显然,图 1.3 所示的方波信号占空比为 50%。

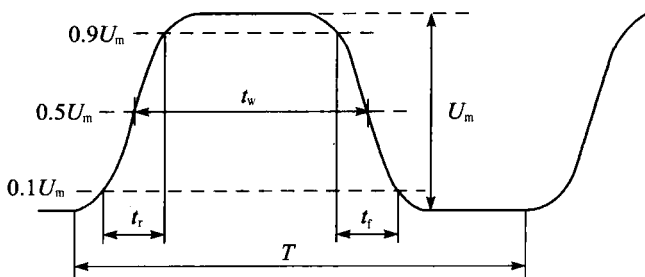


图 1.3 实际的脉冲波形

1.1.2 数字电路

工作于数字信号下的电路称为数字电路,它可以实现数字信号的变换、处理和传输。由于数字信号的离散特性,所以数字电路中的二极管、三极管以及由它们组成的集成电路主要工作在开关状态,因此我们更多关注的是它们工作的饱和区和截止区,而放大区只是其过渡状态。

如果把数字电路的基本单元逻辑门电路集成在一块半导体芯片上,就构成了数字集成电路,这也是当前应用的主流形式,它从 20 世纪 60 年代的小规模集成电路,发展到现在的中规模、大规模、超大规模、甚大规模集成电路,集成度不断提高,在工业自动化、通信系统等领域得到广泛应用,表 1.2 为从集成度角度对数字集成电路进行的分类。

表 1.2 数字集成电路的分类

分 类	集成度(门的个数)	典型集成电路
小规模	最多 12 个	逻辑门、触发器
中规模	12 ~ 99	计数器、加法器
大规模	100 ~ 9999	小型存储器、门阵列
超大规模	10000 ~ 99999	大型存储器、微处理器
甚大规模	10^6 以上	可编程逻辑器件、多功能专用集成电路

另外,如果按照半导体材料、结构和生产工艺还可以把数字集成电路分为 TTL 型和 CMOS 型器件,特别是 CMOS 工艺的发展,使得 CMOS 型集成电路具有更低的功耗、更高的集成度和工作速度,而且抗干扰能力强,目前逐渐在应用中占据了主导地位。

1.1.3 数字电路特点

数字电路在信号的存储、处理和传输上比模拟电路具有更大的优势:

(1) 数字技术能够完成许多复杂的信号处理工作。数字电路主要对用 0 和 1 表示的数字信号进行运算和处理,只要能可靠地区分 0 和 1 这两种状态就可以正常工作,易于完成复杂信号的处理工作。

(2) 数字电路不仅能够完成算术运算,而且能够完成逻辑运算,具有逻辑推理和逻辑判断的能力,因此也被称为数字逻辑电路或逻辑电路,这在控制系统中非常重要。

(3) 由数字电路组成的数字系统,抗干扰能力强,可靠性高,精确性和稳定性好,便于使用、维护和进行故障诊断,容易完成实时处理任务。

(4) 高速度,低功耗,可编程。现代化的生产工艺,使得数字器件的工作速度越来越快,而功耗却可以越来越低,超大规模集成芯片的功耗甚至可以达到毫瓦级。另外,可编程器件的使用,可以让用户根据自己的需要来定制芯片,提高了电路设计的灵活性,并大大缩短了研发周期。

但数字电路也有自身的局限性,自然界中大多数物理量都是模拟量,数字技术不能直接处理模拟信号,也不能直接使用处理后的数字信号,必须要经过模 / 数和数 / 模转换器把模拟信号和数字信号进行相互转换,所以实际的电子系统通常都是模拟电路和数字电路的合体,在发展数字电子技术的同时也要重视模拟电子技术的发展。

1.2 数制及二进制代码

1.2.1 进位计数制

人们在日常生活中经常使用十进制数来计数,即把 0~9 十个数码中的一个或几个按照一定的规律排列起来表达物体数量的多少,像这种多位数码的特定构成方式及从低位到高位进位的规则就称为进位计数制,简称数制。除了常用的十进制数,在计算机这样的数字系统中,广泛采用的还有二进制数、十六进制数等表示方式。

1. 十进制

十进制是用 0,1,2,...,9 十个不同的数码按一定的规律排成序列计数。数码的个数称作基数。十进制就是以 10 为基数的计数体制。当数码处于数字序列的不同位置时,它所表示的数值也不同。

例如,十进制数 108.2 可写成:

$$(108.2)_{10} = 1 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1}$$

一般十进制数用下标“D”或“10”来表示。左边是最高位,右边是最低位,各位的数值就是这一位的数码乘上处于这位的固定常数,如最高位的数值就是这一位的数码 1 乘上处于这一位的固定常数 10^2 ,这里的固定常数就称为“权”。 10^2 、 10^1 、 10^0 分别为百、十、个位的权值,小数点右边的权值以 10 的负幂表示,相邻两位的权值正好相差基数的 10 倍,即遵循逢十

进一的进位规则。因此,可以这样表示任意一个十进制数:

$$(N)_{10} = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} K_i \times 10^i$$

式中, K_i 为基数 10 的第 i 次幂的系数,它可以是 $0 \sim 9$ 中任意一个数字。

综上所述,十进制数的基本特点是:

- (1) 采用 $0, 1, 2, \dots, 9$ 这十个不同的数码来计数,基数为 10。
- (2) 计数规律是“逢十进一”或“借一当十”。

由于十进制数需要表示十个数码,用数字电路实现很复杂且不经济,因此数字电路中一般不直接采用十进制。

2. 二进制

二进制数与十进制数的排序规律相似,区别仅在于基数不同。仿照十进制的描述,可知二进制数的基本特点是:

- (1) 采用 **0** 和 **1** 两个数码来计数,基数为 2。
- (2) 计数规律是“逢二进一”,即 $1 + 1 = 10$ (读作“壹零”)。

任意一个二进制数可表示为

$$(N)_2 = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} K_i \times 2^i$$

式中,二进制数用下标“B”或“2”来表示, K_i 为 **0** 或 **1**。根据此式可以方便地把二进制数转换为十进制数。

例 1.2.1 $(1011)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (11)_{10}$

$(1001.1)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} = (9.5)_{10}$

二进制的运算规则有:

加法	0 + 0 = 0	0 + 1 = 1	1 + 0 = 1	1 + 1 = 10
乘法	0 × 0 = 0	0 × 1 = 0	1 × 0 = 0	1 × 1 = 1

二进制比较简单,只有 **0** 和 **1** 两个数码,在数字电路中能通过三极管的饱和与截止、电平的高与低等方便地表示两种状态,只要规定其中一种状态为“**1**”,另一种状态为“**0**”,就可以用来表示二进制数,而且二进制的运算简单,所以二进制在数字电路中被广泛应用。

3. 十六进制

用二进制表示数时位数很多,不便于书写和记忆,为了便于描述二进制数,通常采用易于转换的十六进制数。

十六进制数的基本特点是:

- (1) 采用 $0 \sim 9$ 和 A(10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15) 共 16 个数码,基数为 16。
- (2) 计数规律是“逢十六进一”。

任意一个十六进制数均可表示为

$$(N)_{16} = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} K_i \times 16^i$$

式中,十六进制数用下标“H”或“16”来表示, K_i 为 $0 \sim 9$ 和 A ~ F 中的任一数字。

1.2.2 不同进制之间的转换

出于习惯,人们通常采用十进制数计数,但在数字系统内部运算都按二进制来进行,因