



MOOC课程配套教材

数字

电子技术基础

Fundamentals of Digital Electronics

◎陈新龙 主 编

何 伟 副主编

清华大学出版社



数字电子技术基础

◎陈新龙 主 编
何 伟 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以主编已出版的4套电工电子技术国家级规划教材为基础,从黑白帽子逻辑问题引出逻辑运算基础知识;从分立元器件、TTL集成逻辑门、CMOS集成逻辑门、硬件描述语言4个方面介绍了常用逻辑运算的电路实现;讲解了组合逻辑电路、时序逻辑电路的分析设计方法,典型电路构成特点及集成芯片的逻辑功能与应用;阐述了脉冲电路及存储器、A/D转换器、D/A转换器等大规模集成电路的特点;最后介绍了利用Verilog HDL描述数字逻辑电路的方法。

本书为“卡通说解数字电子技术”MOOC配套教材,各知识点均配有讲解视频,可微信扫码书中二维码在线观看视频。“卡通说解数字电子技术”MOOC基于虚拟教室以一张PPT阐述清楚一个知识点的思路建设了113个教学视频,利用图片映射题、基于图形的文字填空题等形式建设在线习题近300道。在线习题支持智能辅导、自动批阅,有利于更牢固地掌握各知识点,非常适合以翻转课堂教学形式开展教学活动,可作为电气类、电子信息类等相关专业的大类专业的“数字电子技术”“数字电路”及类似课程的教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/陈新龙主编,何伟副主编. —北京:清华大学出版社,2018

ISBN 978-7-302-50627-0

I. ①数… II. ①陈… ②何… III. ①数字电路—电子技术 IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第154753号

责任编辑:文 怡

封面设计:台禹微

责任校对:李建庄

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印装者:三河市少明印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:23.75

字 数:575千字

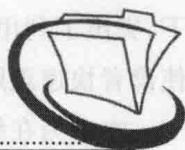
版 次:2018年9月第1版

印 次:2018年9月第1次印刷

定 价:59.00元

产品编号:074817-01

前言



FOREWORD



片花

电的发现是人类社会最伟大的发现之一。电子的流动是一种能量的流动,在带给人们光明与动力的同时推动了一个时代的进步。半导体器件的出现赋予电子的流动以新的内涵。半导体器件的应用使这种能量的流动成为一种信号的传递,一种超强功能的集成信息的传输。集成电路的问世引起了电子技术领域一场新的革命,超大规模集成电路的深入应用推动着一个新时代的来临。在这个时代里,数字电子技术无处不在,因此,各大高校电气类、电子信息类各专业均开设了“数字电子技术”“数字电路”或类似课程。

必须指出,“数字电子技术”是一门探讨数字逻辑、研究电子器件及其应用的课程,其理论性、专业性、应用性均较强。数字电子技术领域新型电子器件不断涌现,基于新型电子器件的设计方法不断推陈出新。如何在规定的学时数内使学生掌握逻辑运算的基础知识,理解典型数字逻辑电路器件逻辑功能及其应用方法,跟随新型电子器件的应用模式,成为教学实施的难点。

本书从黑白帽子逻辑问题引出逻辑运算基础知识;从分立元器件、TTL 集成逻辑门、CMOS 集成逻辑门、硬件描述语言 4 个方面介绍了常用逻辑运算的电路实现;从逻辑模型、Quartus II 仿真两个方面介绍了组合逻辑电路、时序逻辑电路的分析方法;讲解了组合逻辑电路、时序逻辑电路的 SSI 设计方法,重点介绍了典型电路的构成特点及集成电子器件的逻辑功能与应用;阐述了脉冲电路及存储器、A/D 转换器、D/A 转换器等大规模集成电路的特点;最后介绍了利用 Verilog HDL 描述数字逻辑电路的方法。

本书继承了主编已出版的 4 套电工电子技术国家级规划教材的建设成果,力图通俗易懂。本书编写时相对压缩了数字电子技术各基础理论,淡化了电子器件内部电路的分析,强调了电子器件的逻辑特点及其应用方法,在强调掌握数字逻辑电路基本分析方法的前提

下,突出了利用 EDA 软件仿真分析数字逻辑电路,嵌入了 Quartus II 计算机仿真结果,以使读者快速理解重点研究的电子器件的逻辑特点。

本书为在线教学版教材,建设有配套的在线课程,课程名为“卡通说解数字电子技术”,各知识点均配有卡通形式的讲解视频,可微信扫描书中二维码在线观看视频。

在线课程“卡通说解数字电子技术”基于虚拟教室,以一张 PPT 阐述清楚一个知识点的思路建设了 113 个教学视频,利用图片映射题、基于图形的文字填空题等习题形式建设在线习题近 300 道。在线习题支持智能辅导、自动批阅,有利于更牢固地掌握各知识点,非常适合于以翻转课堂教学形式开展教学活动。

中国大学 MOOC 平台“卡通说解数字电子技术”网址:

<https://www.icourse163.org/course/CQU-1002532002>

学堂在线 MOOC 平台“卡通说解数字电子技术”网址:

<http://www.xuetangx.com/courses/course-v1:CQU+ICE20012+sp/about>

本书编写时参照了教育部高等学校电子信息科学与工程类基础课程教学指导分委员会于 2004 年 12 月制定的《数字电子技术基础教学基本要求》,可作为电气类、电子信息类等大类专业“数字电子技术”“数字电路”及类似课程的教材。

本书中元器件符号尽量与仿真软件保持一致,便于读者应用。

本书第 2~4 章由何伟主持编写,第 10 章及附录由胡国庆整理编写,其余各章由陈新龙整理编写。全书由陈新龙担任主编,何伟担任副主编。在本教材的建设过程中,得到了重庆大学第 2 批在线课程建设项目的支持。此外,重庆大学国家级教学名师曾孝平教授、重庆大学通信工程学院黄智勇副教授以及许多老师和同学均对本书提出了宝贵的、建设性的意见与建议,在此表示感谢。

由于作者水平有限,疏漏和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。主编邮箱为 clxtx@cqu.edu.cn,副主编邮箱为 1704000@qq.com。

作者

2018 年 6 月

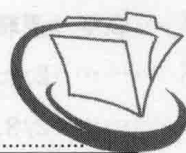


本书课件下载

常用符号

符 号	描 述	符 号	描 述
A, B, C, D	逻辑输入量	E	电动势
F, Y	逻辑输出量	f	频率
G	电导	R, C	电阻、电容
R_C	三极管集电极电阻	R_B, R_E	三极管基极、发射极电阻
R_G	场效应管栅极电阻	R_D	场效应管漏极电阻
R_S	场效应管源极电阻、信号源内阻	R_f	反馈电阻
I	直流电流、正弦电流有效值	i	交流电流
I_{IH}	输入为高电平时的输入电流	I_{IL}	输入为低电平时的输入电流
I_{OH}	输出为高电平时的输出电流	I_{OL}	输出为低电平时的输出电流
I_F	二极管最大整流电流、反馈电流信号	I_R	二极管反向电流
I_B, I_E	基极、发射极电流	I_{BQ}, I_{EQ}	基极、发射极静态电流
I_{BS}, I_{ES}	基极、发射极临界饱和电流	I_{CQ}	集电极静态电流
I_{CEO}	集电极与发射极之间的反向截止电流 (穿透电流)	I_C, I_{CS}	集电极电流、三极管集电极临界饱和 和电流
U	直流电压、正弦电压有效值	u	交流电压
U_i	输入电压	U_O	输出电压
U_{CC}	三极管工作电源	U_{DD}	MOS管工作电源
U_{OH}	输出高电平	U_{OL}	输出低电平
U_{ON}	开门电平	U_{OFF}	关门电平
U_{OHMIN}	输出高电平的最小值	U_{IHMIN}	输入高电平的最小值
U_{OLMAX}	输出低电平的最大值	U_{ILMAX}	输入低电平的最大值
U_{NH}	高电平噪声容限	U_{NL}	低电平噪声容限
U_{TH}	门槛电平	U_m	脉冲幅度
U_{T+}	接通电位	U_{T-}	断开电位
U_D	二极管压降	$U_{(BR)}$	PN结反向击穿电压
U_R	二极管最大反向工作电压	u_T	温度电压当量
U_{CES}	三极管集电极、发射极间临界饱和电压	U_{CE}	三极管集电极、发射极间电压
U_{BE}	三极管发射极电压	U_{CB}	三极管集电极电压
U_{BB}	三极管基极直流电压源电压	U_{CC}	三极管集电极直流电压源电压
$U_{BE(ON)}$	三极管发射结导通压降	U_Z	稳压管稳定电压
U_{GS}	场效应管栅、源极间电压	U_{DS}	场效应管漏、源极间电压
$U_{GS(th)}$	开启电压	$U_{GS(off)}$	夹断电压
U_{GD}	场效应管栅、漏极间电压	U_{ON}	二极管正向导通压降
N_O	扇出系数	ΔU_T	回差电压
TG	CMOS传输门	β, h_{te}	三极管电流放大系数
t_{pdl}, t_r	上升延迟时间	t_{pd2}, t_f	下降延迟时间
t_{pd}, t_r	平均传输延迟时间	t_w	脉冲宽度
D, D_Z	二极管、稳压二极管	T	三极管

目录



CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字量与逻辑量	1
1.1.2 数字信号与数字电子技术	2
1.1.3 学习“数字电子技术”的方法	2
1.2 数制与码制	3
1.2.1 常见数制	3
1.2.2 数制间的转换	5
1.2.3 码制	7
1.3 固定位数二进制数的算术运算	10
1.3.1 二进制数的算术运算	10
1.3.2 固定位数二进制数的表示方法及其运算	10
1.3.3 固定位数二进制数用加法实现减法的原理及方法	11
习题	13
第2章 逻辑运算基础	15
2.1 常见逻辑运算	15
2.1.1 3种基本逻辑运算	15
2.1.2 导出逻辑运算	18
2.2 逻辑运算中的基本公式与常用公式	20
2.2.1 逻辑运算公理	20
2.2.2 基本公式	21
2.2.3 其他常用公式	22

3.4.2	CMOS 集成电路的正确使用	77
3.4.3	CMOS 集成电路与 TTL 电路的混合使用	78
3.4.4	CMOS 数字集成电路的各种系列	79
3.5	利用硬件描述语言描述常用逻辑运算	81
3.5.1	硬件描述语言简介	81
3.5.2	Verilog HDL 语言的基本结构	82
3.5.3	利用 Verilog HDL 描述常用逻辑运算	84
	习题	86
第 4 章	组合逻辑电路	92
4.1	概述	92
4.2	组合逻辑电路的分析和设计	93
4.2.1	组合逻辑电路的分析	93
*4.2.2	利用 Quartus II 分析组合逻辑电路	97
4.2.3	用小规模器件实现组合逻辑电路(SSI 设计)	104
4.3	常见组合逻辑电路的逻辑特点及其应用	107
4.3.1	编码器	107
4.3.2	译码器	116
4.3.3	加法器	127
4.3.4	数据选择器	130
4.3.5	数值比较器	134
4.4	利用中规模器件实现组合逻辑电路(MSI 设计)	136
4.4.1	用译码器实现组合逻辑电路	136
4.4.2	用数据选择器实现组合逻辑电路	138
4.5	组合逻辑电路中的竞争-冒险现象	142
4.5.1	竞争-冒险的含义	142
4.5.2	检查竞争-冒险现象的方法	143
4.5.3	消除竞争-冒险现象的方法	144
	习题	145
第 5 章	触发器	151
5.1	什么是触发器	151
5.2	基本 RS 触发器的逻辑功能描述	154
5.3	常见触发器的逻辑功能	156
5.4	触发器的动作特点	161
5.4.1	动作特点的引入	161

5.4.2	同步结构触发器的动作特点	162
5.4.3	主从结构触发器的动作特点	163
5.4.4	边沿触发器的动作特点	166
5.4.5	触发器的动作特点总结	168
* 5.4.6	维持阻塞结构触发器的动态特性	169
习题		170
第 6 章	时序逻辑电路	174
6.1	概述	174
6.1.1	什么是时序逻辑电路	174
6.1.2	时序逻辑电路的常见描述方法	175
6.1.3	时序逻辑电路的种类	176
6.2	时序逻辑电路的分析	177
6.2.1	同步时序电路的分析方法	177
* 6.2.2	异步时序电路的分析方法	181
6.3	寄存器	184
6.3.1	寄存器	184
6.3.2	移位寄存器的电路特点及逻辑功能	185
6.3.3	集成移位寄存器的逻辑功能	188
6.3.4	移位寄存器的应用	193
6.4	计数器	194
6.4.1	计数器的含义及种类	194
6.4.2	同步计数器的电路构成特点	195
6.4.3	常用中规模集成同步计数器	201
6.4.4	异步计数器的电路构成特点	210
6.4.5	集成异步计数器	214
6.4.6	利用集成同步计数器实现 N 进制计数器	218
6.4.7	利用计数器的级联获得大容量 N 进制计数器	226
6.4.8	移位寄存器型计数器	230
6.5	时序逻辑电路的设计	234
* 6.5.1	用小规模集成电路设计同步时序逻辑电路	234
6.5.2	用中规模时序电路芯片实现实际逻辑问题的方法	239
习题		242
第 7 章	半导体存储器	250
7.1	概述	250

7.1.1	存储器的电路结构及主要参数	250
7.1.2	存储器的种类	252
7.2	随机存取存储器	253
7.2.1	SRAM 存储原理	253
7.2.2	DRAM 电路特点	255
7.2.3	RAM 芯片实例	256
7.3	只读存储器	256
7.3.1	固定 ROM	257
7.3.2	ROM 的写入	257
7.3.3	ROM 集成芯片实例	260
7.4	存储器的扩展	261
7.5	用 ROM 实现组合逻辑电路	265
	习题	269
第 8 章	模/数转换器与数/模转换器	272
8.1	概述	272
8.2	数/模转换器	273
8.2.1	数/模转换器的基本原理	273
8.2.2	权电阻网络数/模转换器	274
8.2.3	倒 T 形电阻网络数/模转换器	275
8.2.4	其他常用数/模转换器	277
8.2.5	数/模转换器芯片实例及其典型电路	279
8.3	模/数转换器	279
8.3.1	模/数转换器的基本原理	279
8.3.2	逐次逼近型模/数转换器	282
8.3.3	其他常用模/数转换器	285
8.3.4	模/数转换器的实例	287
8.3.5	模/数转换器的转换精度与转换速度	288
	习题	289
第 9 章	脉冲单元电路	292
9.1	概述	292
9.2	施密特触发器	293
9.2.1	什么是施密特触发器	293
9.2.2	用门电路组成的施密特触发器	294
9.2.3	集成施密特触发器	296
9.2.4	施密特触发器的应用	297

9.3 单稳态触发器	298
9.3.1 用门电路组成的单稳态触发器	299
9.3.2 集成单稳态触发器	301
9.4 多谐振荡器	303
9.4.1 用门电路构成多谐振荡器	303
9.4.2 用施密特触发器构成多谐振荡器	305
9.4.3 石英晶体多谐振荡器	306
9.5 555 定时器	307
9.5.1 555 定时器的逻辑功能	307
9.5.2 将 555 定时器接成施密特触发器	309
9.5.3 将 555 定时器接成单稳态触发器	310
9.5.4 将 555 定时器接成多谐振荡器	311
9.5.5 应用实例	312
习题	314
第 10 章 利用硬件描述语言描述数字逻辑电路	318
10.1 可编程逻辑器件	318
10.1.1 什么是可编程逻辑器件	318
10.1.2 早期的 PLD 器件	319
10.2 利用 Verilog HDL 描述组合逻辑电路	324
10.2.1 利用 Verilog HDL 的行为描述方法描述组合逻辑电路	324
10.2.2 利用 Verilog HDL 的门级结构描述方法描述组合逻辑电路	327
10.3 利用 Verilog HDL 描述时序逻辑电路	330
10.3.1 利用 Verilog HDL 描述触发器	331
10.3.2 利用 Verilog HDL 描述时序逻辑电路	332
习题	334
附录 A 本书中使用的电路符号	339
附录 B 本书中介绍的芯片	341
附录 C Quartus II 中例 3.5.1 的仿真实现方法	346
附录 D 本书仿真包的使用说明	353
附录 E 利用本书资源实施翻转课堂教学的建议方法	356
附录 F 部分习题答案	358
参考文献	365



第1章

绪论



本章要点:

本章为本书基础章,从数字量与逻辑量的概念出发,介绍数字信号、数字电路、数字电子技术等基础概念;介绍数制、码制的基础知识;从方便电路实现角度,介绍数字系统中固定位数二进制数的表示方法;基于固定位数二进制数的表示方法,介绍数字系统中通过补码用加法实现减法的方法。

1.1 概述

自然界的数据有模拟、数字 2 种类型,理解数字量是学习本书的基础。



1.1.1 数字量与逻辑量

自然界的绝大多数物理量为时间上和数量上均连续变化的物理量,称为模拟量,如声音、压力等。表征这些模拟量的信号称为模拟信号,相应的数据称为模拟数据。

另外,自然界中还有一些数据是不连续变化的,如人的个数,这些数据量称为数字量。在这些数字量中,还有一些特殊的量只有两种值,如河南安阳发现的曹操墓是否为真的曹操墓,其值只有“是”“不是”两种(“不知道”是指不知道其值是“是”还是“不是”,不是一种值),把这种只有两种值的量称为逻辑量。理解逻辑量是掌握逻辑运算的基础。

基于逻辑量,人们构建了很多经典问题,用于锻炼、测试逻辑推理能力。例如:

有 3 顶黑帽子和 2 顶白帽子,让 3 个人从前到后站成一排,每个人都看不见自己戴的帽子的颜色,只能看见站在前面那些人的帽子颜色。给每个测试者头上戴一顶黑帽子,然后从后到前逐个问测试者所戴帽子的颜色,最后者和中间者均回答说“不知道”,请问最前面的人是如何回答的?

答案如下:

最前面的人很自信地回答:“黑色!”

推理过程如下:

最后面的人知道自己帽子颜色的前提是前面 2 个人戴的都是白帽子,基于只有 2 顶白帽子的已知条件,可推出自己戴的是黑帽子。本例中,最后面的人回答“不知道”,说明最前面 2 个人戴的不全是白帽子。

中间的人不知道自己戴的帽子颜色,说明最前面的人戴的不是白帽子。

基于上面的推理,最前面的人可推出自己戴的是黑帽子。

1.1.2 数字信号与数字电子技术

1849 年,英国数学家乔治·布尔(George Boole)总结提出逻辑代数,也称为布尔代数。逻辑代数中,变量及函数的取值只能取逻辑 0 和逻辑 1(yāo)两种不同的逻辑状态,便于电路实现。例如,用高电平(有电流、开关闭合)表示 1,低电平(无电流、开关断开)表示 0,这种表示方式称为正逻辑;反之,称为负逻辑。在本书中,不加说明均指正逻辑。

利用逻辑代数,可解决现实世界中的信号处理及其运算问题,前提条件是这些信号是用 0 和 1 表示的序列,是时间上和数值上都不连续变化的物理量,是数字信号。

数字信号只有 0 和 1 两个符号,数值上的不连续显而易见。另外,数字信号在时间上也是不连续的,在固定的时间间隔内,数字信号只能有 1 个值,一般用同步时间脉冲来体现固定的时间间隔。例如,主频为 800MHz 的智能手机运算极限是每秒处理 800M 个 0 或 1 的符号。

工作在数字信号下的电路称为数字电路,利用数字电路解决现实世界中问题的技术统称为数字电子技术。

当然,现实世界中的常见信号均为模拟信号,不能直接送入数字系统进行处理,需要将模拟信号离散并数字化为数字信号。模拟信号的离散化过程如图 1.1.1 所示。

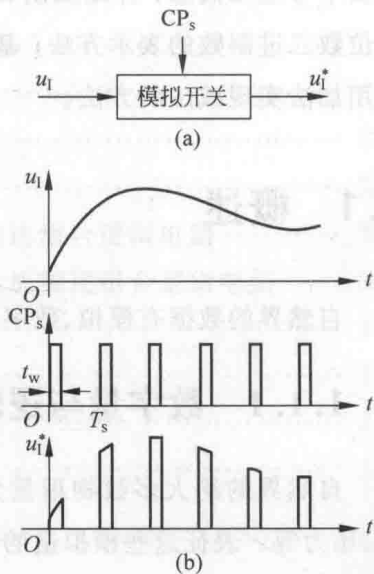


图 1.1.1 模拟信号的离散化

1.1.3 学习“数字电子技术”的方法

“数字电子技术”是一门大类基础课,要学习该课程首先必须理解该课程的基础知识。

众所周知,加、减、乘、除是初等数学的基本运算,其他运算均由这 4 种基本运算组合而成。逻辑代数是分析与设计数字电路的数学工具,也有其基本运算。

在上面的黑白帽子逻辑问题中,最前面的人能很自信地回答“黑色”的原因主要基于以下几种逻辑联系:

(1) 帽子颜色只有黑、白两种,若不是黑帽子,则必是白帽子。

(2) 白帽子只有 2 顶,3 人中必有黑帽子。

(3) 最后者和中间者均回答“不知道”。

基于逻辑联系(1)可抽象出非逻辑运算,基于逻辑联系(2)和(3)可概括总结出与、或两种基本逻辑运算,后面将会介绍这 3 种基本逻辑运算的含义,在此仅指出,逻辑表达式由且只能由与、或、非 3 种基本逻辑运算组成。

当然,逻辑代数也能实现加、减、乘、除等数学运算问题,只是这些运算由且只能由与、或、非 3 种基本逻辑运算组成,也可以说,数学运算通过逻辑运算来实现。

当然,逻辑运算是通过电路来实现的,要学习本课程,必须具有一定的电路基础知识。

基于上面的分析,可总结出学习本课程的基本方法:温习以前学过的电路基础知识,扎实掌握本课程的基础知识——逻辑运算基础。

复习与思考

1.1.1 下列描述中不正确的是()。

(1) 逻辑量只有两种值

(2) 用逻辑 0 表示低电平,逻辑 1 表示高电平,这种逻辑表示方法称为负逻辑

(3) 对于 1 和 0 可用电位的高和 low 或用脉冲信号的有和无来表示

(4) 逻辑运算由与、或、非 3 种基本运算及其组合构成

1.1.2 如图 1.1.2 所示,描述更贴切的是()。

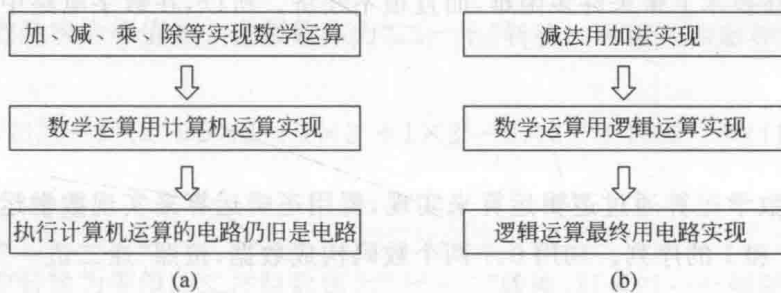


图 1.1.2 复习与思考 1.1.2 的图

1.2 数制与码制

理解逻辑运算首先必须理解数学上数的表示方法,掌握数制是学习本课程的基础。

1.2.1 常见数制

表示一个数习惯上采用位置记数法,包括数码、基数、位权 3 个要素,具体如图 1.2.1 所示。



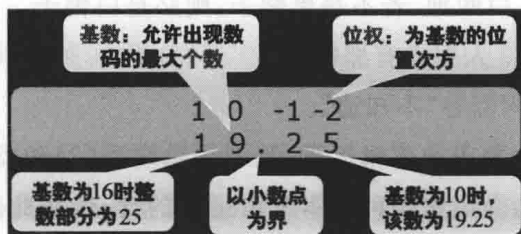


图 1.2.1 位置记数法

数码为构成该计数进制的具体数码,基数为允许出现数码的最大个数,位权为基数的位置次方。基于这3个要素,可总结几种常见进制如下。

1. 十进制

十进制包括0、1、2、3、4、5、6、7、8、9十个数码,基数为10。这种按照“逢十进一”进行计数的计数方法称为十进制。

在十进制数中,它的计数规律是“逢十进一”,即 $9+1=10$ 。在“10”中,右边的“0”为个位数,左边的“1”为十位数,也就是 $10=1\times 10^1+0\times 10^0$ 。这样一来,每一数码处于不同的位置时(数位),它代表的数值是不同的。例如,数224.36可以写成

$$224.36=2\times 10^2+2\times 10^1+4\times 10^0+3\times 10^{-1}+6\times 10^{-2}$$

从电路的角度来看,采用十进制是不方便的。因为构成电路的基本想法是把电路的状态和数码对应起来,而十进制的10个数码,必须由10个不同的而且能严格区分的电路状态与之对应,这将在技术上带来许多困难,而且很不经济。所以,在数字电路中不直接采用十进制。

2. 二进制

前面提到,数学运算通过逻辑运算来实现,要用逻辑运算来实现数学运算首先应将数学运算表示成0和1的序列。利用0、1两个数码构成数据,按照“逢二进一”进行计数的计数方法称为二进制。

在二进制数中,有0、1两个数码,基数为2,计数规律是“逢二进一”,即 $1+1=10$ 。在“10”中,右边的“0”为 2^0 位数,左边的“1”为 2^1 位数,也就是 $10=1\times 2^1+0\times 2^0$ 。因此,每一数码处于不同的位置时(数位),它代表的数值是不同的。例如,数11010.01可以写成

$$11010.01=1\times 2^4+1\times 2^3+0\times 2^2+1\times 2^1+0\times 2^0+0\times 2^{-1}+1\times 2^{-2}$$

从电路实现的角度,二进制具有许多优点,因此在数字电子技术中广泛采用二进制。二进制只有0、1两个数码,它的每一位数都可以用任何具有两个不同稳定状态的元件来表示,所以电路简单、可靠,所用元件少。二进制的基本运算规则简单,操作简便,便于电路实现。

3. 十六进制和八进制

十六进制包括 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A(对应十进制数中的 10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15) 十六个数码,基数为 16。这种按照“逢十六进一”进行计数的计数方法称为十六进制。

按照“逢十六进一”进行计数的数称为十六进制数,是以 16 为基数的计数体制。例如,数 $(63.A)_{16}$ 可以写成

$$(63.A)_{16} = 6 \times 16^1 + 3 \times 16^0 + A \times 16^{-1}$$

八进制包括 0、1、2、3、4、5、6、7 八个数码,基数为 8。这种按照“逢八进一”进行计数的计数方法称为八进制。

按照“逢八进一”进行计数的数称为八进制数,是以 8 为基数的计数体制。例如,数 $(37.5)_8$ 可以写成

$$(37.5)_8 = 3 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1}$$

1.2.2 数制间的转换

尽管二进制数用电路实现简单,但人们只习惯十进制数。下面介绍各种数制间的转换。

1. “二一十”转换

将二进制数转换为等值的十进制数称为“二一十”转换。可按二次幂相加法进行转换。例如

$$(1011.01)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (11.25)_{10}$$

2. “十一二”转换

将十进制数转换为等值的二进制数称为“十一二”转换,可通过一个例题来理解。

【例 1.2.1】 将十进制数 25.375 转换为二进制数。

解 将带小数的非二进制数转换为二进制数应将整数、小数部分单独转换。

(1) 对整数部分用辗转除 2 取余法。

$$\begin{array}{ccccccc}
 0 & \leftarrow \div 2 & 1 & \leftarrow \div 2 & 3 & \leftarrow \div 2 & 6 & \leftarrow \div 2 & 12 & \leftarrow \div 2 & 25 \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\
 & & \text{高位} & & 1 & & 1 & & 0 & & 0 & & 1 & \text{低位}
 \end{array}$$

所以

$$(25)_{10} = (11001)_2$$

(2) 对小数部分用辗转乘 2 取整法。

$$\begin{array}{ccccccc}
 0.375 & \xrightarrow{\times 2} & 0.75 & \xrightarrow{\times 2} & 0.5 & \xrightarrow{\times 2} & 0 \\
 \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \\
 \text{负的低位} & 0 & 1 & & 1 & \text{负的高位} &
 \end{array}$$

所以

$$(0.375)_{10} = (0.011)_2$$

$$(25.375)_{10} = (11001.011)_2$$

3. “二—八(或十六)”转换

将二进制数转换为八进制数(或十六进制数)称为“二—八(或十六)”转换,可通过一个例题来理解。

【例 1.2.2】 将 $(10011100101101001000.1001)_2$ 转换为八进制数和十六进制数。

解 (1) 转换为八进制数。将二进制数转换为八进制数的方法如下:从小数点开始,整数部分向左、小数部分向右每 3 位二进制数分为一组,对应 1 位八进制数。即

$$\begin{array}{ccccccccccc}
 \underline{010} & \underline{011} & \underline{100} & \underline{101} & \underline{101} & \underline{001} & \underline{000} & . & \underline{100} & \underline{100} \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\
 2 & 3 & 4 & 5 & 5 & 1 & 0 & . & 4 & 4
 \end{array}$$

所以

$$(10011100101101001000.1001)_2 = (2345510.44)_8$$

(2) 转换为十六进制数。将二进制数转换为十六进制数的方法如下:从小数点开始,整数部分向左、小数部分向右每 4 位二进制数分为一组,对应于 1 位十六进制数。即

$$\begin{array}{ccccccc}
 \underline{1001} & \underline{1100} & \underline{1011} & \underline{0100} & \underline{1000} & . & \underline{1001} \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow \\
 9 & C & B & 4 & 8 & . & 9
 \end{array}$$

所以

$$(10011100101101001000.1001)_2 = (9CB48.9)_{16}$$

4. “八—十六”转换

【例 1.2.3】 将 $(753.234)_8$ 转换为十六进制。

解 (1) 先将八进制转换为二进制数。将八进制数转换为二进制数的方法如下:从小数点开始,整数部分向左、小数部分向右每 1 位八进制数对应 3 位二进制数。即

$$\begin{array}{ccccccc}
 7 & 5 & 3 & . & 2 & 3 & 4 \\
 111 & 101 & 011 & . & 010 & 011 & 100
 \end{array}$$

所以