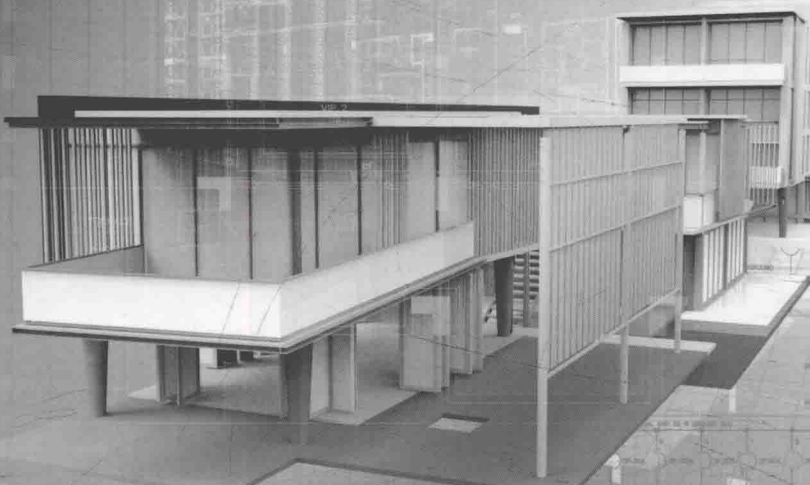




普通高等学校
电类规划教材



数字逻辑 电路基础

慕课版

◎李广明 曾令琴 肖慧娟 葛卫清 编著

- 内容新颖，100 多个重点知识视频，教材全面立体化
- 从实用角度出发，重点培养动手解决问题的能力
- 配套高水平教学课件、章后习题解析



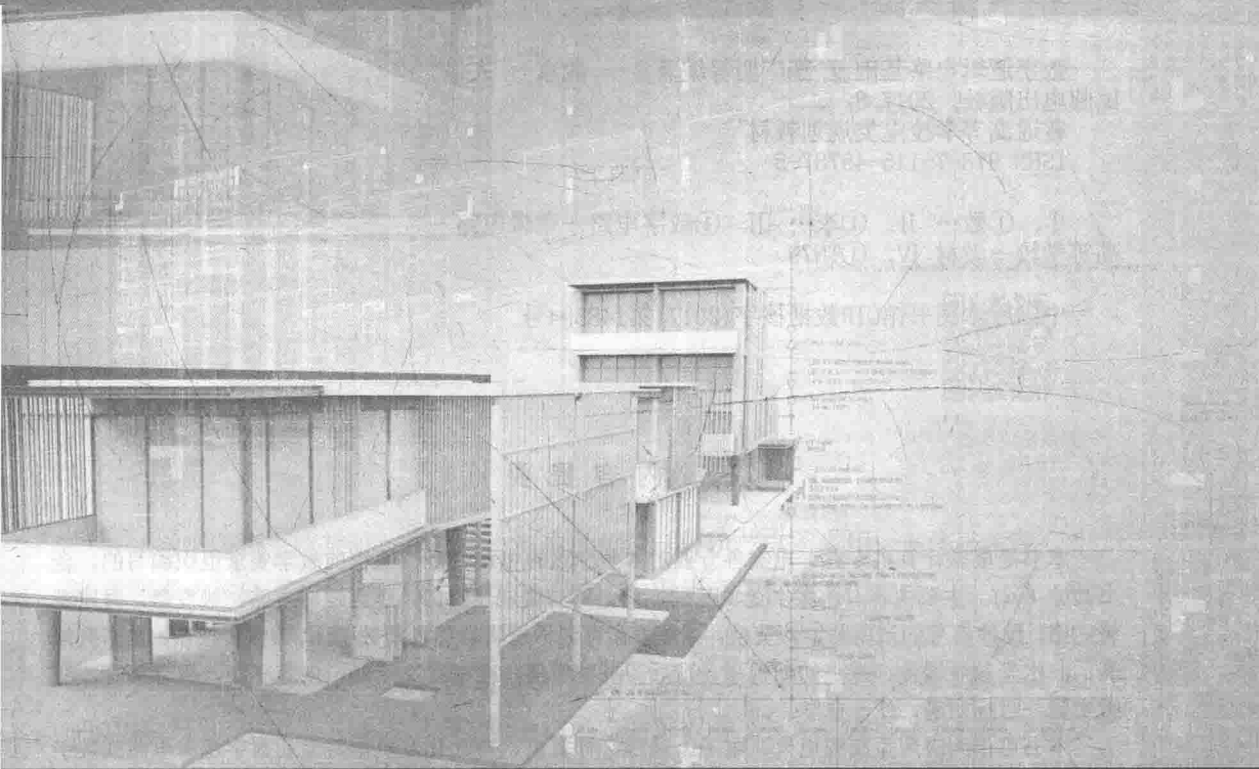
中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



普通高等学校
电类规划教材



数字逻辑 电路基础



慕课版

◎李广明 曾令琴 肖慧娟 葛卫清 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑电路基础 / 李广明等编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2017.8
普通高等学校电类规划教材
ISBN 978-7-115-45787-5

I. ①数… II. ①李… III. ①数字电路—逻辑电路—高等学校—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第148394号

内 容 提 要

本书是根据计算机专业、电类各专业对“数字逻辑电路基础”课程的教学要求组织编写的。全书共分8章,主要内容有:数字逻辑基础,门电路和集成逻辑门,组合逻辑电路,触发器,时序逻辑电路,脉冲信号的产生与波形变换,存储器和可编程逻辑器件以及数/模和模/数转换器。本书有配套的高水平教学课件、重点知识视频、章后习题解析等,全书行文流畅,内容丰富,概念清楚,注重实际,目标明确,便于自学。

本书可作为应用型院校电气、电子、通信、计算机、自动化及机电等专业数字逻辑电路或数字电子技术课程的教材,也可作为从事电子技术方面的工程人员的参考用书。

◆ 编 著 李广明 曾令琴 肖慧娟 葛卫清

责任编辑 李 召

责任印制 陈 犇

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 16.25

2017年8月第1版

字数: 371千字

2017年8月北京第1次印刷

定价: 49.80元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147号



数字逻辑电路基础
简介

“数字逻辑电路基础”是高校电气自动化、计算机、电子应用、通信技术等专业的专业基础课和平台课程。数字电子技术主要研究各种逻辑门电路、触发器、组合逻辑电路和时序逻辑电路的分析与设计、集成器件的功能以及集成芯片的引脚功能、555定时器等。近些年来，随着科学技术的迅猛发展，集成数字逻辑电路在高速、低功耗、低电压、带电插拔、小逻辑等许多方面都取得了长足的发展，各种数字新技术、数字电子新器件层出不穷。这些不断涌现的新技术，无疑给“数字逻辑电路基础”增添了很多新的内容。

为使课程内容更加丰富、充实和不断更新，能够跟上日益发展的科学体系，根据教育部“高等学校教学质量与教学改革工程”的主要精神，结合目前数字逻辑电路教学实际情况以及该课程在电子工程中的应用，我们组织编写了这本微课版的《数字逻辑电路基础》。

本书共分8章。第1章数字逻辑基础，主要介绍数字电路的特点、数制与码制、逻辑代数及其化简法；第2章门电路和集成逻辑门，以二极管、三极管的开关特性为引线，以三种基本逻辑门为重点，介绍了各种常用集成逻辑门电路的电路组成及应用；第3章组合逻辑电路，以组合逻辑电路的分析法和大规模组合逻辑电路的设计展开问题的讨论和学习，进而引入各种常用的集成组合逻辑电路；第4章触发器，以基本的RS触发器电路作为各种触发器的基本环节引入各类触发器，突出介绍了边沿触发的主从型JK触发器和维持阻塞D触发器；第5章时序逻辑电路，主要介绍同步、异步时序逻辑电路的分析方法，在此基础上对常用时序逻辑器件进行了重点分析；第6章脉冲信号的产生与波形变换，主要介绍了施密特触发器、单稳态触发器和多谐振荡器的基本原理

以及555定时器电路；第7章存储器和可编程逻辑器件，阐述了半导体存储器在大规模集成电路中的应用和可编程逻辑器件的电路结构及其可编程性质，重点介绍了它们在工程实际中的应用；第8章数/模和模/数转换器，重点介绍了两种转换器的转换原理和集成DAC和ADC的引脚功能。全书内容除理论知识外，还特别强调了实践应用环节。按照立体化配套，制作了高水平的教学课件、重点知识视频，章后习题解析等，可登录人邮教育社区www.ryjiaoyu.com下载。

本教材由东莞理工学院李广明、郑州工商学院曾令琴，东莞理工学院肖慧娟、东莞理工学院城市学院葛卫清编写而成，黄河水利职业技术学院曾赞、王磊、闫曾参与资料收集与书稿整理工作；全书由曾令琴统稿。

作者期望本书能对人才培养和教学改革起到一定的推动作用，恳请使用本书的教师和学生提出宝贵的意见和建议，以便在今后的修订中做得更好。

编 者
2017.7

第 1 章 数字逻辑基础

1

1.1 数字电路概述.....	2
1.1.1 数字信号和数字电路	2
1.1.2 数字电路的特点	3
1.1.3 数字电路的分类	3
1.1.4 脉冲与脉冲参数	3
👁️ 思考题	4
1.2 数制与码制	4
1.2.1 数字电路所用的数制	4
1.2.2 各种计数制之间的转换	6
1.2.3 数字电路中常用的码制与 编码	8
👁️ 思考题	13
1.3 逻辑函数的基本概念和表示 方法	13
1.3.1 逻辑函数的基本概念	13
1.3.2 三种基本的逻辑关系	14
1.3.3 复合逻辑运算	16

1.3.4 逻辑函数的表示方法	17
👁️ 思考题	18
1.4 逻辑代数的基本公式、定律和 规则	18
1.4.1 逻辑代数的基本公式	18
1.4.2 逻辑代数的基本定律	19
1.4.3 逻辑代数的重要规则	20
👁️ 思考题	21
1.5 逻辑函数及其化简	21
1.5.1 逻辑函数的常用形式	21
1.5.2 逻辑函数的代数化简法	22
1.5.3 用卡诺图表示逻辑函数	23
1.5.4 逻辑函数的卡诺图化简法	25
👁️ 思考题	27
1.6 应用能力训练环节	28
👁️ 习题	36

第 2 章 门电路和集成逻辑门

39

2.1 半导体二极管和三极管的开关 特性	39
2.1.1 理想开关的开关特性	39
2.1.2 半导体二极管的开关特性	40
2.1.3 双极型晶体管的开关特性	42
2.1.4 MOS管的开关特性	43
👁️ 思考题	45

2.2 分立元件的门电路	45
2.2.1 二极管与门	45
2.2.2 二极管或门	46
2.2.3 三极管非门	47
2.2.4 分立元件的复合门	47
👁️ 思考题	49
2.3 TTL集成逻辑门	49

2.3.1	TTL集成逻辑门的结构组成	49
2.3.2	典型TTL与非门	51
2.3.3	集电极开路的TTL与非门	54
2.3.4	三态门	55
2.3.5	ECL门电路	57
2.3.6	TTL集成电路的改进系列	58
2.3.7	TTL集成逻辑门的使用注意事项	59
	👁️思考题	60
2.4	MOS集成逻辑门	60
2.4.1	CMOS逻辑门的基本单元	61
2.4.2	CMOS与非门	62
2.4.3	CMOS或非门	63
2.4.4	其他CMOS集成逻辑门	63

2.4.5	CMOS逻辑门的特点及使用注意事项	64
	👁️思考题	65
2.5	集成逻辑门使用中的实际问题	65
2.5.1	各种逻辑门之间的接口问题	65
2.5.2	门电路带负载时的接口电路	67
2.5.3	抗干扰措施	68
	👁️思考题	69
2.6	应用能力训练环节	69
2.6.1	集成逻辑门电路的功能测试	69
2.6.2	学习Multisim 8.0电路仿真(一)	72
	👁️习题	76

第3章 组合逻辑电路

80

3.1	组合逻辑电路的分析	81
3.1.1	组合逻辑电路的特点	81
3.1.2	组合逻辑电路功能的描述	81
3.1.3	组合逻辑电路的分析	82
	👁️思考题	85
3.2	组合逻辑电路的设计	85
3.2.1	组合逻辑电路的设计步骤	85
3.2.2	组合逻辑电路的设计举例	85
	👁️思考题	88
3.3	常用中规模集成器件	88
3.3.1	编码器	88
3.3.2	译码器	93
3.3.3	数据选择器和数据分配器	98
3.3.4	数据分配器	99

3.3.5	数值比较器	100
3.3.6	加法器	102
	👁️思考题	103
3.4	组合逻辑电路的竞争与冒险	103
3.4.1	竞争冒险及其产生原因	103
3.4.2	冒险现象的判别	104
3.4.3	消除冒险现象的方法	104
	👁️思考题	105
3.5	应用能力训练环节	105
3.5.1	编码、译码及数码显示电路的研究	105
3.5.2	学习Multisim 8.0电路仿真(二)	108
	👁️习题	114

4.1 基本RS触发器 118

4.1.1 基本RS触发器的结构
组成 118

4.1.2 基本RS触发器的工作
原理 118

4.1.3 基本RS触发器的动作
特点 119

4.1.4 基本RS触发器逻辑功能的
描述 119

👁️ 思考题 121

4.2 钟控RS触发器 122

4.2.1 钟控RS触发器的结构
组成 122

4.2.2 钟控RS触发器的工作
原理 122

4.2.3 钟控RS触发器的功能
描述 123

👁️ 思考题 124

4.3 主从型JK触发器 125

4.3.1 JK触发器的结构组成 125

4.3.2 JK触发器的工作原理 125

4.3.3 JK触发器的动作特点 126

4.3.4 JK触发器的功能描述 126

4.3.5 集成JK触发器 127

👁️ 思考题 128

4.4 维持阻塞型D触发器 128

4.4.1 D触发器的结构组成 129

4.4.2 D触发器的工作原理 129

4.4.3 D触发器的动作特点 130

4.4.4 D触发器的功能描述 130

4.4.5 集成D触发器 130

👁️ 思考题 131

4.5 T触发器和T'触发器 131

4.5.1 T触发器 131

4.5.2 T'触发器 131

👁️ 思考题 132

4.6 应用能力训练环节 132

4.6.1 集成触发器的功能测试 132

4.6.2 学习Multisim 8.0电路仿真

(三) 134

👁️ 习题 137

5.1 时序逻辑电路的分析和设计
思路 141

5.1.1 时序逻辑电路概述 141

5.1.2 时序逻辑电路的功能
描述 142

5.1.3 时序逻辑电路的基本分析
方法 142

5.1.4 时序逻辑电路的设计
思路 146

👁️ 思考题 147

5.2 集成计数器.....	147	5.3.4 移位寄存器的应用.....	160
5.2.1 二进制计数器.....	148	👁️思考题.....	162
5.2.2 十进制计数器.....	150	5.4 应用能力训练环节.....	163
5.2.3 集成计数器及其应用.....	152	5.4.1 计数器及其应用.....	163
👁️思考题.....	157	5.4.2 移位寄存器及其应用.....	166
5.3 寄存器.....	157	5.4.3 学习Multisim 8.0电路仿真	
5.3.1 数码寄存器.....	157	(四).....	172
5.3.2 移位寄存器.....	158	👁️习题.....	172
5.3.3 集成双向移位寄存器.....	159		

第6章 脉冲信号的产生与波形变换

176

6.1 555定时电路及其应用.....	177	6.3.1 施密特触发器的电路组成.....	185
6.1.1 集成555定时电路的组成.....	177	6.3.2 传输特性和主要参数.....	186
6.1.2 555定时器的原理与功能.....	178	6.3.3 施密特触发器的工作原理.....	186
6.1.3 CMOS型555定时器简介.....	179	👁️思考题.....	187
👁️思考题.....	181	6.4 多谐振荡器.....	188
6.2 单稳态触发器.....	181	6.4.1 多谐振荡器的电路组成.....	188
6.2.1 单稳态触发器的特点.....	181	6.4.2 多谐振荡器的工作原理.....	188
6.2.2 用555定时器组成的单稳态		6.4.3 多谐振荡器的主要参数.....	189
触发器.....	181	👁️思考题.....	189
6.2.3 单稳态触发器的应用.....	184	6.5 应用能力训练环节.....	189
👁️思考题.....	185	👁️习题.....	191
6.3 施密特触发器.....	185		

第7章 存储器和可编程逻辑器件

194

7.1 存储器的基本知识.....	194	👁️思考题.....	198
7.1.1 存储器概述.....	195	7.2 只读存储器ROM.....	198
7.1.2 存储器的分类.....	195	7.2.1 ROM的结构组成和功能.....	198
7.1.3 存储器的主要技术指标.....	197	7.2.2 ROM的工作原理.....	199

7.2.3 ROM的分类	202	7.4 可编程逻辑器件	212
7.2.4 ROM的应用	204	7.4.1 可编程逻辑阵列	212
👁️ 思考题	206	7.4.2 可编程阵列逻辑	213
7.3 随机存取存储器RAM	207	7.4.3 通用阵列逻辑	214
7.3.1 RAM的结构组成和 功能	207	👁️ 思考题	215
7.3.2 RAM的存储单元	208	7.5 应用能力训练环节	215
7.3.3 集成RAM芯片简介	209	7.5.1 随机存取存储器2114A及其 应用	216
7.3.4 RAM的容量扩展	210	7.5.2 学习Multisim 8.0电路仿真 (五)	223
👁️ 思考题	211	👁️ 习题	224

第8章 数/模和模/数转换器

227

8.1 数/模转换器	228	8.2.3 双积分型ADC	239
8.1.1 DAC的基本概念	228	8.2.4 集成ADC0809简介	241
8.1.2 DAC的基本原理	229	👁️ 思考题	242
8.1.3 集成DAC典型芯片	232	8.3 应用能力训练环节	242
8.1.4 DAC的主要技术指标	234	8.3.1 A/D与D/A转换电路的 研究	242
👁️ 思考题	235	8.3.2 学习Multisim 8.0电路仿真 (六)	245
8.2 模/数转换器	236	👁️ 习题	245
8.2.1 ADC的基本概念和转换 原理	236		
8.2.2 逐次比较型ADC	239		

参考文献

249

第1章 数字逻辑基础

数字逻辑基础的重点内容包括：数制和码制及它们之间的转换，逻辑代数的基本公式、常用公式及其基本定理，逻辑函数的表示方法、代数化简法和卡诺图化简法等。

“数字逻辑基础”是数字逻辑技术的重点内容之一，也是分析和设计数字逻辑电路时使用的主要数学工具。例如，设计一个数字电路时，方案可能有多种，哪种方案最好？当然是在达到同样功能的基础上，选择电路结构最简单、元器件数最少的设计方案，因为它是最经济的。本章中逻辑函数的化简，就是解决这类实用问题的基础储备知识。因为，设计任何一个数字电路，根据要求的逻辑功能，总要先设计出相应的逻辑关系式，再根据逻辑关系式构建相应的逻辑电路框图。如果设计的逻辑关系式复杂，相应的电路结构随之复杂；如果设计的逻辑关系式在达到同样功能的基础上最简单，则电路结构一定也是最简单的，即逻辑函数的化简直接关系到今后设计数字电路的复杂程度和性能指标。



本章学习目的及要求

1. 了解数字信号、脉冲信号以及数字电路的特点及分类。
2. 了解数制与码制，掌握二进制、八进制、十进制和十六进制之间的转换，理解机器码的表示方法；掌握 BCD 码、格雷码及奇偶校验码。
3. 了解逻辑电路基本定理、常用公式。
4. 掌握逻辑代数化简法和卡诺图化简法。

需要重视的是，本章中的“最小项”和“任意一个逻辑函数式都可以化简为最简与或式的形式”是两个非常重要的概念，在逻辑函数的化简和变换中经常用到。

1.1 数字电路概述

1.1.1 数字信号和数字电路

电子技术中的工作信号可分为模拟信号和数字信号两大类。

模拟信号是广播电视中传递的各种语音信号和图像信号，是生产和生活中客观存在的压力、温度、弹力等变化信息。模拟信号的特点是其在时间上和幅值上都是连续变化的，如图 1.1 所示。



数字信号和数字电路

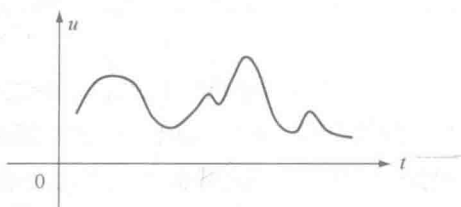


图1.1 模拟信号

1. 数字信号

无论是在时间上，还是在数值上，都是不连续的被传递、加工和处理的信号，称为数字信号。例如，用电子电路记录从自动生产线上输出的产品数量时，每输出一个产品便送给电子电路一个信号，记之为“1”信号；而没有产品输出时，送给电子电路一个“0”信号，“0”信号不计数。显然，产品数量的“1”的信号是在时间上和数值上都不连续离散信号。图 1.2 为典型的数字信号。

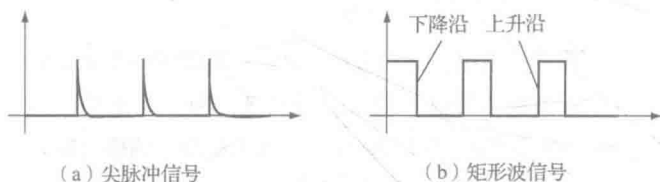


图1.2 典型数字、脉冲信号

数字、脉冲信号的变化总是发生在一系列离散的瞬间，且数值大小只有高电平“1”和低电平“0”两种取值。

2. 数字电路

用于传递、加工和处理数字信号电子电路称作数字电路。数字电路的工作信号一般都是用 0 和 1 组成的二值信号，如 1 电平表示电压的高、脉冲的有；0 电平表示电压的低、脉冲的无。数字电路主要研究输出与输入信号之间的对应逻辑关系。因此，数字电路常常被人们称作逻辑电路。

研究数字电路输入和输出之间的关系，实质上就是二值变量之间的逻辑关系。描述二值变量之间的逻辑关系表达式称为逻辑函数式。数字电路能够对数字信号进行各种逻辑运算和算术运算，在各种数控装置、智能仪表以及计算机中得到广泛的应用。

1.1.2 数字电路的特点

数字电路中, 信号电平的大小并不重要, 只要大于某一阈值, 就是高电平 1, 小于这一阈值就是低电平 0, 即数字电路被传递和处理的信号只有 0 和 1 两种逻辑状态, 因此数字电路的抗干扰能力强。

由于数字信号采用的是二值信息, 因此在电路工作时只要能可靠地区分 1 和 0 两种状态就可以了。数字电路在稳态时, 电路中的二极管、三极管均处于开关状态, 且与二进制信号的要求相对应。和模拟电子技术相比, 数字电路的单元结构比较简单, 对元件的精度要求不高, 便于集成化、系列化生产, 且使用方便、可靠性高、价格低廉。

数字电路的上述特点和独到之处, 不仅使它应用于电子计算机中对数字信号的处理, 而且在手机、DVD、摄像机、数码照相机等家电设备上发展迅猛, 在机械加工、生产过程自动化、现代通信、军事科学、航天领域、遥测、遥控技术、数字测量仪表等诸多领域上越来越得到了广泛的应用。

1.1.3 数字电路的分类

数字电路按其组成结构的不同可分为分立元件的数字电路和集成数字电路两大类。目前广泛应用的数字电路绝大多数是集成数字电路。集成数字电路是以半导体晶体材料为基片, 将组成电路的元器件和互连线集成在基片内部、表面或基片之上的微小型化电路或系统。

集成电路的集成度标志着集成电路的水平, 按照集成度的大小, 集成数字电路可分为小规模集成电路 SSI (集成度通常为 $1 \sim 10$ 门/片)、中规模集成电路 MSI (集成度通常为 $10 \sim 100$ 门/片)、大规模集成电路 LSI (集成度通常为 $100 \sim 1\,000$ 门/片) 和超大规模集成电路 VLSI (集成度已达 10 万门/片, 甚至突破了 300 万门/片)。

按数字电路所用器件的不同, 数字电路又可分为双极型数字电路和单极型数字电路。双极型数字电路包括 DTL、TTL、ECL、IIL 和 HTL 多种; 单极型数字电路包含 JFET、NMOS、PMOS 和 CMOS 等。

按数字电路能够完成的逻辑功能特点的不同, 数字电路还可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。

1.1.4 脉冲与脉冲参数

1. 脉冲

脉冲的定义: 在短时间内突变, 随后又迅速返回其初始值的物理量称为脉冲。

从脉冲的定义不难看出, 脉冲有间隔性的特征, 且大部分脉冲信号在周期内占有的时间非常短暂, 如图 1.2 (a) 所示的尖脉冲。脉冲信号一般指数字信号, 显然目前的脉冲信号已经是一个周期内有一半时间 (甚至更长时间) 有信号, 如图 1.2 (b) 所示的计算机内的方波脉冲信号。脉冲信号可以是周期性的, 也可以是单次性的。

2. 脉冲参数

为了表征脉冲信号的特征, 常用一些参数来描述, 如图 1.3 所示的矩形脉冲电压为例介绍几个脉冲参数。



数字电路的特点



数字电路的分类



脉冲与脉冲参数

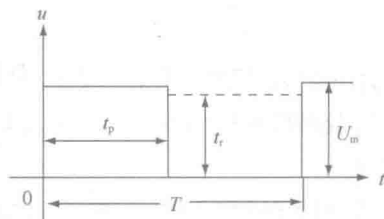


图1.3 脉冲参数

- (1) 脉冲幅度 U_m : 脉冲电压变化的最大值。
- (2) 脉冲周期 T : 周期性脉冲信号前后两次出现的时间间隔。
- (3) 脉冲宽度 t_p : 脉冲持续的时间。
- (4) 重复频率: 单位时间内脉冲重复的次数。
- (5) 上升时间 t_r : 脉冲上升至 $0.9U_m$ 所需的时间。

思考题

1. 电子技术中模拟信号和数字信号有何不同? 数字电路具有哪些特点?
2. 数字电路按集成度的不同是如何进行分类的?
3. 何为脉冲? 什么是脉冲宽度?

1.2 数制与码制

1.2.1 数字电路所用的数制

人们利用各种计数规则对数量进行计数统计时, 仅用一位数码往往不够用, 必须用进位计数的方法组成多位数码。多位数码的每一位构成以及从低位到高位

的进位规则称为进位计数制, 简称数制。

1. 进制数

日常生活中人们最为熟悉的进制数是十进制。十进制计数制中有 0~9 十个数码, 计数规则是逢十进一。除了十进制计数制外, 还有许多非十进制的计数方法。例如, 60 秒进位为 1 分钟, 60 分钟进位为 1 小时, 用的是六十进制计数规则; 一星期有 7 天, 是七进制计数规则; 1 年有 12 个月, 是十二进制计数规则。

在计算机系统中则广泛采用了二进制计数规则。这是因为, 尽管计算机能够处理各类数据和信息, 包括常用的十进制数, 但计算机内部使用的数字符号只有“0”和“1”两个, 即计算机内部使用的是二进制。计算机内部之所以采用二进制, 是由于组成计算机的电子器件本身具有可靠稳定的“开”和“关”两种状态, 恰好对应二进制的“0”和“1”两个数码, 因此技术上容易实现信息量的存放、传递



数字电路中所用的
数制

和处理,同时为计算机进行逻辑运算提供了有利的条件。另外,二进制电路设计简单、运算可靠、逻辑性强,机器容易识别。

除此之外,在计算机指令代码和数据的书写中还经常用到八进制和十六进制。

2. 计数制中的两个基本要素

任何一种进位计数规则均包含基数和位权两个基本要素。

(1) 基数:在进位计数制中,数码的集合称为基,各种计数制中用到的数码个数称为基数。

例如,常用的十进制中用到的数码有0~9十个,所以十进制的基数是10;二进制中用到的数码有0和1两个,因此二进制的基数是2;八进制中用到的数码有0~7八个,八进制的基数是8;十六进制中用到的数码有0~15十六个,所以十六进制的基数是16。

(2) 位权:处在不同数位的数码,代表不同的数值,每一个数位的数值均由该位数码的值乘以处在该位的一个固定常数,不同数位上的固定常数称作位权。

例如,十进制数个位的位权是 10^0 ,十位的位权是 10^1 ,百位的位权是 10^2 ,千位的位权是 10^3 ……,以此类推;二进制数小数点左数第1位的位权是 2^0 ,左数第2位的位权是 2^1 ,左数第3位的位权是 2^2 ,左数第4位的位权是 2^3 ……,以此类推。显然,位权是各种计数制中基数的幂。

更通俗一点的说明:例如,十进制数2222各位的数码都是2,但每一个2所处的数位不同,则它们表示的数值也大相径庭:左数第4位的2代表 $2 \times 10^3 = 2000$,左数第3位的2代表 $2 \times 10^2 = 200$,左数第2位的2代表 $2 \times 10^1 = 20$,左数第1位的2代表 $2 \times 10^0 = 2$ 。犹如一个学校的领导干部有校长、党委书记、副校长、工会主席、团委书记等,他们都是校领导,但他们所处的地位不同,学校给予他们的权力也各不相同。又如称砵所处的刻度位置不同时,表示的重量也是不同的。

3. 常用计数制的特点

(1) 十进制

十进制是人们最熟悉的一种计数制。十进制计数的特点如下。

- ① 十进制计数的基数是10。
- ② 十进制数的每一位必定是0、1、2、3、4、5、6、7、8、9十个数码中的一个。
- ③ 从低位数到相邻高位数之间的进位关系是“逢十进一”。
- ④ 同样的数字在不同数位上代表的值各不相同,各位的权是10的幂。

(2) 二进制

二进制是计算机处理问题时常用的计数制,二进制计数的特点如下。

- ① 二进制计数的基数是2。
- ② 二进制数的每一位必定是0或1两个数码中的一个。
- ③ 从低位数到相邻高位数之间的进位关系是“逢二进一”。
- ④ 同一个数字符号在不同数位上代表的值各不相同,各位的权是2的幂。

(3) 八进制和十六进制

二进制数的运算规则和电路的实现比较简单、方便,但一个较大的十进制数用二进制数表示时,其位数太多,无疑给数的读、写均带来一定的麻烦,而且容易出错。所以,人们又常用八进制或十六进制数来读、写二进制数。

① 八进制数的特点

- a. 八进制计数的基数是 8。
- b. 八进制数的每一位必定是 0、1、2、3、4、5、6、7 八个数码中的一个。
- c. 从低位数到相邻高位数之间的进位关系是“逢八进一”。
- d. 同一个数字符号在不同数位上代表的值各不相同，各位的权是“8”的幂。

② 十六进制数的特点

- a. 十六进制计数的基数是 16。
- b. 十六进制数的每一位必定是 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 十六个数码中的一个。
- c. 从低位数到相邻高位数之间的进位关系是“逢十六进一”。
- d. 同一个数字符号在不同数位上代表的值各不相同，各位的权是 16 的幂。

1.2.2 各种计数制之间的转换

当我们用计算机解决实际问题时，由键盘敲入的通常是人们所熟悉的十进制数或某个特定信息，但计算机识别的却是二进制数码，这就有十进制或特定信息向二进制转换的过程。



各种计数制之间的
转换

1. 各种计数制数转换为十进制数

各种计数制数转换为十进制数相对比较简单，应用按位权展开求和的方法即可实现。

例如，二进制数 $(111)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 4 + 2 + 1 = (7)_{10}$ 。

其中各位 2 的幂代表该位上二进制数码的位权。例如， 2^2 代表十进制数 4， 2^1 代表十进制数 2， 2^0 代表十进制数 1。用各位权乘以该位对应的数再求和可实现二进制数和十进制数之间的转换。

又例如，八进制数 $(726)_8 = 7 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 6 \times 8^0 = 448 + 16 + 6 = (470)_{10}$ 。

其中各位 8 的幂代表该位上八进制数码的位权。如 8^2 代表十进制数 64， 8^1 代表十进制数 8， 8^0 代表十进制数 1。用各位权乘以该位对应的数再求和可实现八进制数和十进制数之间的转换。

又例如，十六进制数 $(A28)_{16} = 10 \times 16^2 + 2 \times 16^1 + 8 \times 16^0 = 2560 + 32 + 8 = (2600)_{10}$ 。

其中各位 16 的幂代表该位上十六进制数码的位权。例如， 16^2 代表十进制数 256， 16^1 代表十进制数 16， 16^0 代表十进制数 1。用各位权乘以该位对应的数再求和可实现十六进制数和十进制数之间的转换。

显然，各种计数制中的任意数，只要按照上述按位权展开求和的方法，即可得到它们对应的、人们最熟悉的十进制数。

2. 十进制数转换为其他进制

十进制数直接转换为八进制数或十六进制数时较为麻烦，通常要先把十进制数转换为二进制数，然后再转换为八进制数或十六进制数时就变得简单了。所以，掌握十进制数和二进制数之间的转换十分必要，也非常关键。

(1) 十进制数转换为二进制数

十进制数转换为二进制数时，整数部分的转换应用除 2 取余法。

【例 1.1】求十进制数 $[47]_{10}$ 转换的二进制数。

【解】

2	47	余 1..... k_0	最低位 k_0 ↑ 最高位 k_5
2	23	余 1..... k_1	
2	11	余 1..... k_2	
2	5	余 1..... k_3	
2	2	余 0..... k_4	
	1	 k_5	

即： $[47]_{10}=[k_5 k_4 k_3 k_2 k_1 k_0]_2=[101111]_2$ 。

由例 1.1 可知，一个十进制数转换为二进制数的过程为：首先把待转换的十进制整数用 2 连除，直到无法再除为止，且每除一次记下余数 1 或 0，再把每次所得的余数从后向前排列，即可得到对应的二进制整数。

十进制数转换为二进制数时，小数部分的转换应用乘 2 取整法。

【例 1.2】求十进制小数 $[0.125]_{10}$ 转换的二进制小数。

【解】利用乘 2 取整法： $0.125 \times 2 = 0.25$取整数部分 0，余数 0.25
 $0.25 \times 2 = 0.5$取整数部分 0，余数 0.5
 $0.5 \times 2 = 1$取整数部分 1，余数 0

可得 $[0.125]_{10}=[0.001]_2$

显然，十进制小数转换为二进制小数的过程是首先让十进制数中的小数乘以 2，所得积的整数为小数点后第一位，保留积的小数部分继续乘 2，所得的积的整数为小数点后第二位，即取各次乘 2 之后的整数部分为二进制各位的小数，保留下来的小数部分再继续乘 2.....以此类推，直到小数部分等于 0 或达到所需精度为止。

对上述结果用按位权展开求和方法进行验证： $[0.001]_2=1 \times 2^{-3}=[0.125]_{10}$ 。

(2) 二进制数转换为八进制数和十六进制数

只要将十进制数转换成相应的二进制数，再转换成八进制数和十六进制数就容易多了。

【例 1.3】把二进制数 $[101111]_2$ 转换成八进制数和十六进制数。

【解】二进制数转换成八进制数的方法是：整数部分从小数点向左数，每三位二进制数码为一组，最后不足三位补 0，读出三位二进制数对应的十进制数值，就是整数部分转换的八进制数；小数部分从小数点向右数，也是每三位二进制数码为一组，最后不足三位补 0，读出三位二进制数对应的十进制数值，就是小数部分转换的八进制小数的数值。即： $[101111]_2=[57]_8$ 。

验证： $[57]_8=5 \times 8^1 + 7 \times 8^0 = 40 + 7 = [47]_{10}$ 。

二进制数转换成十六进制数的方法是：整数部分从小数点向左数，每四位二进制数码为一组，最后不足 4 位补 0，读出 4 位二进制数对应的十进制整数的数值作为整数部分转换的十六进制整数；小数部分从小数点向右数，也是每 4 位二进制数码为一组，最后不足 4 位补 0，读出 4 位二进制数对应的十进制数值，就是小数部分转换的十六进制小数的数值。

例如， $[00101111]_2=[2F]_{16}$

验证： $[2F]_{16}=2 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = 32 + 15 = [47]_{10}$