

高等学校
电子信息类

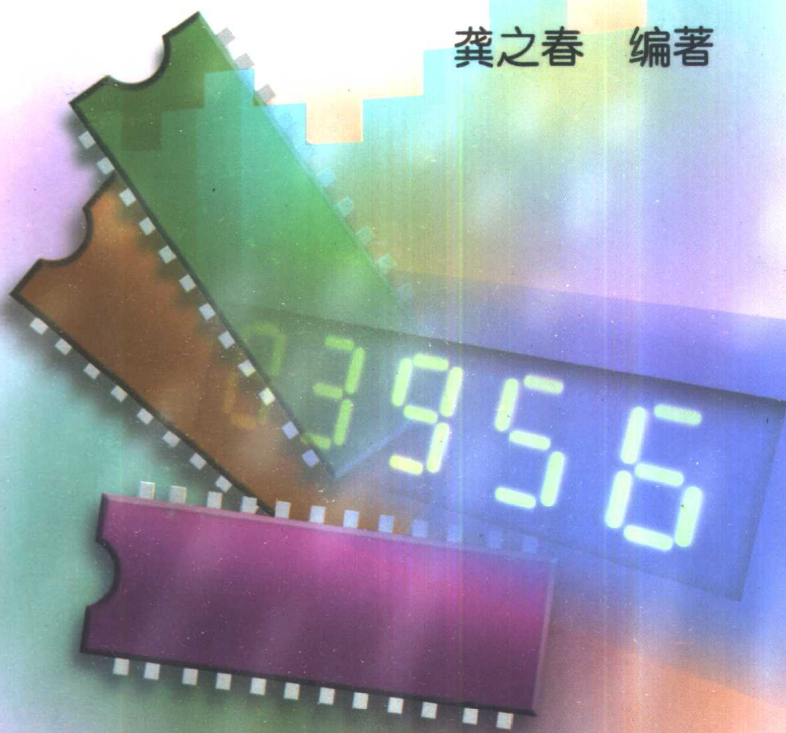
规划教材 · 九五电子部重点教材 ·

本科电子工程

数字电路

浙江省高等学校首批重点建设教材

龚之春 编著



电子科技大学出版社

UESTC PUBLISHING HOUSE

高等学校电子信息类规划教材 · 九五电子部重点教材 ·
浙江省高等学校首批重点建设教材

数字电路

龚之春 编著

电子科技大学出版社

内 容 提 要

本书是讨论脉冲与数字电路的基础教材,供普通高校工科电子信息类专业本科使用。

本书内容共分十章,前三章讲授数制与编码、逻辑代数及门电路,是学习数字技术必要的信号、数学及器件基础知识;而组合电路、触发器及时序电路三章,则是本课程的主要内容;运算电路是上述组合及时序电路的综合运用;可编程控制器则是近代数字电路的发展方向;模/数转换和脉冲与数字系统两章,则是讲授构成完整数字设备所不可缺少的概念和技术。

本书取材较新,叙述清楚,注重基本功能电路的分析和设计方法;举例较多,图表规范,采用国标的逻辑图形符号。书后附有学习本课程较为全面的参考书目,便于自学;习题类型丰富,以适应由试题库成卷进行的考试或测评。

本教材内容经适当选择和组织后,也可供电子技术、自动控制、机电一体化或计算机应用等专业使用。

声 明

· 九五电子部重点教材 ·
高等学校电子信息类规划教材 浙江省高等学校首批重点建设教材

数 字 电 路

龚之春 编著

出 版: 电子科技大学出版社 (成都建设北路二段四号, 邮编: 610054)

责任编辑: 唐雅邻

发 行: 电子科技大学出版社

经 销: 新华书店

印 刷: 西南冶金地质印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印张 29.125 字数 741 千字

版 次: 1999年8月第一版

印 次: 2000年12月第二次印刷

书 号: ISBN 7-81065-193-5/TN·13

印 数: 4001-6000册

定 价: 33.00元

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作，根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》，我们组织各有关高等学校、中等专业、出版社，各专业教学指导委员会，在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上，根据当代电子信息科学技术的发展和面向21世纪教学内容和课程体系改革的要求，编制了《1996—2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报，经各学校、出版社推荐，由各专业教学指导委员会评选，并由我部教材办商各专指委、出版社后，审核确定的。本轮规划教材的编制，注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需，尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时，选择了一批对学科发展具有重要意义，反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划，以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足，希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议，以不断提高教材的编写、出版质量，共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系 1996 年 4 月浙江省高等学校首批重点教材建设项目之一,后又列入《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》,成为原电子工业部重点规划教材,由全国本科电子工程专业教学指导委员会编审、推荐出版。本教材由杭州电子工业学院龚之春教授担任主编,南京航空航天大学沈嗣昌教授主审,责任编辑为东南大学沈永朝教授。

本教材的参考学时数为 60~70 学时,其主要内容完全满足现行“数字电路课程教学基本要求”,共分十章,与编者主研的同名课程试题库的分章情况基本相符。

鉴于“数字电路”课程自 80 年代初开设至今,其原理性内容变化不大,而技术性和实践性内容则有较大的发展,故本教材将数制与编码、逻辑函数、门电路及触发器等章节的基础内容,仅作必要的叙述,够用为准;而关于组合、时序及其他功能电路几章,着重讨论它们的基本原理及应用,内部电路的分析则从略了。模-数转换技术及脉冲与数字系统简介两章的概念,是从事电子技术应用不可缺少的专业知识,应该安排一定篇幅及案例进行介绍。

属于大规模集成的存储器及可编程逻辑器件,近年来发展的势头迅猛,已经成为微电子技术进步的一个重要标志。由于可编程器件的开发与应用,都离不开专用软件的辅助,目前,许多院校都已单独设课,讲授专用语言及编程技术,以实现用 PLD 为核心器件构成所需的数字系统,课名有“电子设计自动化(EDA)”或“数字电路系统”等,而且已有多本专门教材及参考书面市。因此,本教材仅将可编程器件及其电路作原理性的讨论,并介绍它们的发展前景。至于系统介绍它们的开发工具(CAA 和 CAD)及实践操作,则留待后续课程去研究。

由于本教材基本上采用 GB4728.12—85《电气图用图形符号 二进制逻辑单元》所制定的逻辑符号标准,所以书中在相应之处还对这套国标图形符号作了必要的解释,以利推广普及,也便于我国的电子技术文档与国际标准接轨。

使用本教材时,视各校教学传统,可以把第七章运算电路集中讲授,也可将有关内容分插在相应章节内举例介绍。第十章脉冲与数字系统,也可按专业需要另选案例说明,当然,相应的习题也可另拟。第六章时序电路篇幅虽较长,但其中许多例题是供学生自学的,不必逐节讲授。

本教材附有较多的例题和习题,这一方面是有利于基本概念的掌握,拓宽学习的思路;另一方面也是有意识增加题型、题类,以适应由试题库生成的试卷考核。

本教材中许多例题及习题是由徐荣瑾副教授拟稿的,她还参与了前四章初稿的讨论及修改工作。本书在编写过程中,始终得到学院领导的支持与鼓励,教研室同事也提出许多宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1998 年 10 月

于杭州电子工业学院

目 录

第一章 数制与编码	(1)
1-1 脉冲与数字波形	(1)
1-1-1 脉冲波形的概念	(1)
1-1-2 数字波形的概念	(3)
1-2 数字的基本概念	(4)
1-2-1 数制与权重	(4)
1-2-2 数的自然二进制(BIN)表示法	(5)
1-2-3 八进码(OCT)和十六进码(HEX)	(7)
1-2-4 数的二十进码(BCD) ^① 表示法	(9)
1-3 带有符号位的二进制	(10)
1-3-1 带正、负号数的二进制表示法	(10)
1-3-2 符号位的扩展	(14)
1-3-3 偏移二进制(偏权码)	(14)
1-3-4 BCD 码的原码和补码	(14)
1-4 可靠性编码的概念	(15)
1-4-1 奇偶校验码	(16)
1-4-2 m 中取 n 码	(16)
1-4-3 格雷码(G)	(17)
1-5 字符码与条形码	(18)
1-5-1 标准字符码	(18)
1-5-2 条形码的概念	(20)
1-5-3 空间字符码	(22)
习题	(23)
第二章 逻辑函数及逻辑门	(28)
2-1 基本逻辑函数及运算定律	(28)
2-1-1 三种基本逻辑函数	(28)
2-1-2 逻辑函数的运算定律及规则	(29)
2-2 逻辑函数的真值表	(32)
2-2-1 基本逻辑函数的真值表	(32)
2-2-2 逻辑函数的最小项和最大项	(32)

2-2-3	真值表的建立	(33)
2-2-4	从真值表归纳逻辑函数	(35)
2-2-5	未完全描述函数的真值表及表达式	(36)
2-3	逻辑函数的卡诺图	(37)
2-3-1	卡诺图的构成	(37)
2-3-2	用卡诺图化简函数	(41)
2-3-3	卡诺图的运算	(44)
2-3-4	降维卡诺图	(45)
2-4	逻辑门及其图形符号	(48)
2-4-1	二进制逻辑单元符号的组成	(49)
2-4-2	几种复合的逻辑门	(51)
2-5	逻辑函数的其他表示方法	(53)
2-5-1	用开关网络表示逻辑函数	(54)
2-5-2	文氏图 ^①	(55)
2-6	用表格法化简逻辑函数	(56)
2-7	逻辑电平及正、负逻辑	(58)
	习题	(60)
第三章 门电路		(67)
3-1	晶体管的开关特性及反相器	(67)
3-1-1	半导体二极管开关及其特性	(67)
3-1-2	晶体管开关及其特性	(72)
3-2	早期门电路	(78)
3-2-1	二极管门电路	(78)
3-2-2	电阻-晶体管逻辑门(RTL) ^①	(80)
3-2-3	二极管-晶体管逻辑门(DTL) ^②	(80)
3-3	晶体管-晶体管逻辑门(TTL) ^③	(81)
3-3-1	TTL 基本门的工作原理	(81)
3-3-2	TTL 门电路的外部特性及参数	(85)
3-3-3	TTL 门的其他输出、输入结构	(90)
3-3-4	其他功能的 TTL 门电路	(95)
3-3-5	集成电路的封装	(97)
3-4	发射极耦合逻辑门(ECL) ^④	(97)
3-5	集成注入逻辑(IIL 或 I ² L) ^⑤	(100)
3-6	金属-氧化物-半导体逻辑(MOSL) ^⑥	(101)
3-6-1	互补 MOS 反相器(CMOS) ^⑦	(102)
3-6-2	静态 CMOS 门电路	(103)
3-6-3	NMOS 逻辑门	(107)
3-7	接口电路	(108)
3-7-1	TTL 和 CMOS 电路的互联	(108)

3-7-2	TTL 和 ECL 电路的互联	(109)
3-7-3	双向总线收发器	(110)
	习题	(110)
第四章	组合逻辑电路	(120)
4-1	逻辑图形符号中的关联记号	(120)
4-2	编码和译码器	(123)
4-2-1	编码器 ^①	(123)
4-2-2	译码器 ^①	(128)
4-2-3	其他码变换电路(X/Y)	(133)
4-3	数据选择器和分配器	(136)
4-3-1	数据选择器(MUX) ^①	(136)
4-3-2	数据分配器(DMUX 或 DX) ^①	(142)
4-4	数码的奇偶产生/校验器	(143)
4-5	组合电路的分析	(145)
4-6	组合电路的设计	(148)
4-6-1	用逻辑门设计组合电路	(148)
4-6-2	用功能组件设计组合电路	(151)
4-7	组合电路中的竞争 ^① 与险象 ^②	(154)
4-7-1	竞争和险象的分析	(154)
4-7-2	险象的消除	(156)
	习题	(158)
第五章	触发器	(169)
5-1	RS 触发器(RS FF)	(169)
5-2	锁存器 ^①	(172)
5-3	主从触发器(MS FF) ^①	(174)
5-3-1	主从 RS 触发器	(175)
5-3-2	主从 JK 触发器	(175)
5-3-3	带数据锁定的主从 JK 触发器	(177)
5-4	边沿触发器(ET FF) ^①	(178)
5-4-1	边沿 D 触发器	(179)
5-4-2	边沿 JK 触发器	(180)
5-5	多功能触发器	(181)
5-5-1	翻转触发器(T FF)	(181)
5-5-2	多功能触发器	(182)
5-6	触发器的应用	(183)
5-6-1	消颤开关	(183)
5-6-2	开机置位	(184)
5-6-3	异步脉冲同步化	(184)

5-6-4 二次分频	(186)
5-7 触发器的定时参数	(187)
习题	(188)
第六章 时序逻辑电路	(197)
6-1 时序逻辑电路的概念	(197)
6-2 数据寄存器	(198)
6-3 计数器(CTR) ^①	(201)
6-3-1 异步二进制计数器	(202)
6-3-2 集成异步 4 位二进制计数器	(207)
6-3-3 集成异步 BCD 码计数器	(208)
6-3-4 同步二进制计数器	(210)
6-3-5 集成同步 4 位二进制加法计数器	(212)
6-3-6 集成同步二进制可逆计数器	(216)
6-3-7 集成同步 BCD 码计数器	(219)
6-4 移位寄存器(SRG) ^①	(223)
6-4-1 单向移存器	(223)
6-4-2 集成 4 位通用移存器	(225)
6-4-3 移位寄存器的直接应用	(227)
6-4-4 移存型计数器	(230)
6-4-5 序列发生器	(234)
6-5 同步时序电路的分析	(238)
6-6 同步时序电路的设计	(243)
6-6-1 状态图(表)的建立和简化	(244)
6-6-2 按简化状态表设计电路	(250)
6-7 异步时序电路的概念	(258)
6-7-1 脉冲型异步时序电路	(258)
6-7-2 电平型异步时序电路	(260)
习题	(264)
第七章 算术运算电路	(276)
7-1 数码的算术运算	(276)
7-1-1 二进制数的运算	(276)
7-1-2 BCD 数的运算	(280)
7-2 数值比较器(COMP) ^①	(281)
7-3 加法电路	(284)
7-3-1 行波加法器 ^①	(285)
7-3-2 先行进位加法器 ^②	(285)
7-3-3 先行进位网络(CPG) ^①	(287)
7-3-4 串行二进制加法电路	(289)

7-3-5	BCD 数的加法电路	(289)
7-3-6	全加器的应用	(290)
7-4	减法电路	(292)
7-4-1	全减器 ^①	(292)
7-4-2	利用 2' 补码相加的减法电路	(293)
7-4-3	BCD 数的减法电路	(294)
7-5	乘法电路 ^①	(295)
7-5-1	组合式乘法器	(295)
7-5-2	表格式乘法器	(297)
7-5-3	BCD 数乘法电路	(299)
7-5-4	比例乘法器 ^①	(300)
7-6	除法电路 ^①	(305)
7-7	算术/逻辑运算单元(ALU) ^①	(307)
	习题	(311)
第八章 存储器与可编程逻辑器件		(317)
8-1	概述	(317)
8-2	随机存取存储器(RAM) ^①	(318)
8-2-1	静态 RAM(SRAM) ^②	(318)
8-2-2	动态 RAM(DRAM) ^①	(320)
8-2-3	RAM 的扩展与应用	(323)
8-3	只读存储器(ROM)	(328)
8-3-1	ROM 的构成与固定 ROM(MROM) ^②	(328)
8-3-2	可编程 ROM(PROM)	(330)
8-3-3	可改编 ROM(EPROM ^① 和 EEPROM ^②)	(332)
8-3-4	ROM 的扩展与应用	(333)
8-4	可编程逻辑阵列(PLA) ^①	(338)
8-4-1	概述	(338)
8-4-2	PLA 的工作原理及应用	(338)
8-4-3	PLA 的扩展	(341)
8-5	可编程阵列逻辑(PAL) ^①	(341)
8-6	通用阵列逻辑(GAL) ^①	(347)
8-6-1	GAL 的电路结构	(347)
8-6-2	OLMC 的结构与组态	(347)
8-6-3	地址分配及编程	(349)
8-7	PLD 的发展及电脑辅助编程(CAP) ^①	(353)
8-7-1	第三代 PLD	(353)
8-7-2	逻辑单元阵列(LCA) ^①	(354)
8-7-3	PLD 的电脑辅助编程	(355)
	习题	(356)

第九章 模拟和数字信号间的转换	(364)
9-1 A/D 及 D/A 转换的概念	(364)
9-1-1 A/D 及 D/A 转换的作用	(364)
9-1-2 模拟量和数字量的对应关系	(365)
9-1-3 量化误差及取样定理	(366)
9-1-4 D/A 转换的概念	(367)
9-2 D/A 转换器(DAC)	(369)
9-2-1 二进制权重网络 DAC	(369)
9-2-2 倒 T 形电阻网络 DAC	(371)
9-2-3 电流源 DAC	(373)
9-2-4 双极性 DAC	(375)
9-2-5 树状开关网络 DAC	(376)
9-2-6 DAC 的特性参数	(377)
9-2-7 DAC 的应用	(378)
9-3 A/D 转换器(ADC)	(382)
9-3-1 转换特性和电路部件	(382)
9-3-2 并行 ADC	(386)
9-3-3 权重法 ADC(逐次逼近法)	(389)
9-3-4 计数法 ADC	(392)
9-4 其他模-数转换技术	(396)
9-4-1 增量-调制(Δ - Σ)技术	(396)
9-4-2 电压-频率-数字转换	(397)
习题	(398)
第十章 脉冲与数字系统简介	(404)
10-1 定时电路	(404)
10-1-1 用门或触发器构成单稳态电路 ^①	(404)
10-1-2 集成单稳态电路	(407)
10-1-3 自激多谐振荡器 ^①	(412)
10-1-4 555 定时器 ^①	(417)
10-2 数字式脉冲产生器	(422)
10-2-1 计数比较式定时的概念	(422)
10-2-2 计数式脉冲产生器的组成	(423)
10-2-3 双时钟方案	(424)
10-3 计数与显示控制系统	(424)
10-3-1 计数-显示控制器	(424)
10-3-2 兼顾测时的门波形成电路	(426)
10-3-3 多位数字的扫描显示电路	(427)
10-4 振动数据处理系统	(428)

10-4-1	振动数据的收集及预处理	(428)
10-4-2	编码与译码网络	(431)
10-4-3	计数脉冲的形成	(432)
10-4-4	系统的改进	(433)
习题	(433)
附录	(438)
附录一	逻辑图形符号中的总定性记号及输入、输出记号表	(438)
附录二	常用集成电路系列型号及主要性能表	(442)
附录三	常用 TTL、CMOS 74 系列型号及功能名称表	(444)
参考书目	(451)

第一章 数制与编码

虽然中外历史上曾经出现过多种数制,但现在人们习惯使用的数字却是十进制。只有在少数领域,如钟表、日历等计时系统,至今还保留十二进制及六十进制等非十进制的计数方法。

另一方面,作为现代信息化社会的标志,即通信与计算机行业的兴起,迫使人们需要掌握二进制数字的运算规则,因为电子器件的导通和截止,最适宜于代表二进制数字的0和1。因此,就带来了如何进行十进制数和二进制数间的变换问题,以及日常使用的文字和符号,又如何用二进制信号来表示,以便与数字信号一起,进入通信传输或计算机等数字装置进行处理,以便对生产、交通甚至武器等实现快速而有效的控制。

1-1 脉冲与数字波形

1-1-1 脉冲波形的概念

在近代电子设备中,使用的电信号有连续信号和脉冲信号两类。连续信号又称为模拟信号,如常见的正弦波等就属于这一类,它们是归模拟电子线路课程讨论的内容。在脉冲与数字电路课程中研究的是脉冲及数字信号,它们都是属于变化快慢不一,作用时间断续的电压或电流波形,图 1-1 画出了几种常见的脉冲波形。

由于脉冲波形千变万化,很难用几个参数对它作精确的描述。工程上为了便于定量分析,通常在幅度和时间两方面,还是规定了几个必要参数,以图 1-2 所示的矩形电压脉冲为例,有幅度参数:

V_0 ——脉冲的起始电位,也称为静态电平,它可正可负,由电路初态而定;

V_m ——脉冲幅度;

V_p ——脉冲峰值,可以有正峰和负(反)峰值之分;

Δ ——平顶下降;

δ ——超量,也可以有正、反向超量之分。 δ 和 Δ 这两个参数,有时是用其对幅度 V_m 的百分比来表示的。

时间参数:

t_0 ——脉冲起始时间,通常以 $0.1V_m$ 电平计,在图 1-2 中,取 $t_0=0$;

t_r ——上升时间,以幅度的 $0.1\sim 0.9$ 计;

t_f ——下降时间,以幅度的 $0.9\sim 0.1$ 计;

t_w ——脉冲底部宽度,通常以 $0.1V_m$ 电平计;

t_{wA} ——脉冲平均宽度,指 $0.5V_m$ 电平的宽度;

T ——周期,其倒数即为脉冲的重复频率 F ,而将 $\frac{t_w}{T}$ 称为脉冲占空比 β 。

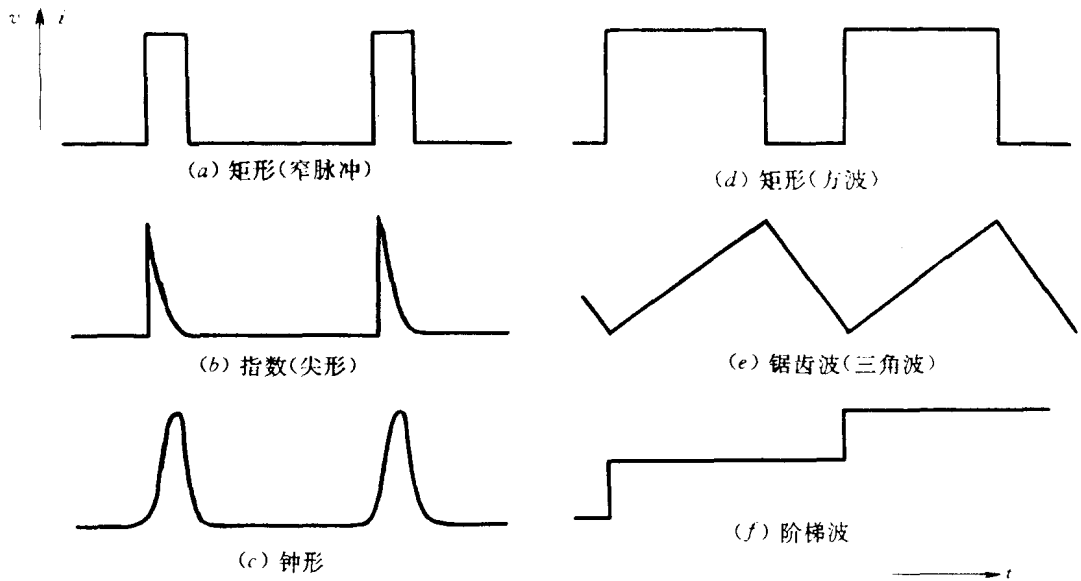


图 1-1 几种常见的脉冲波形

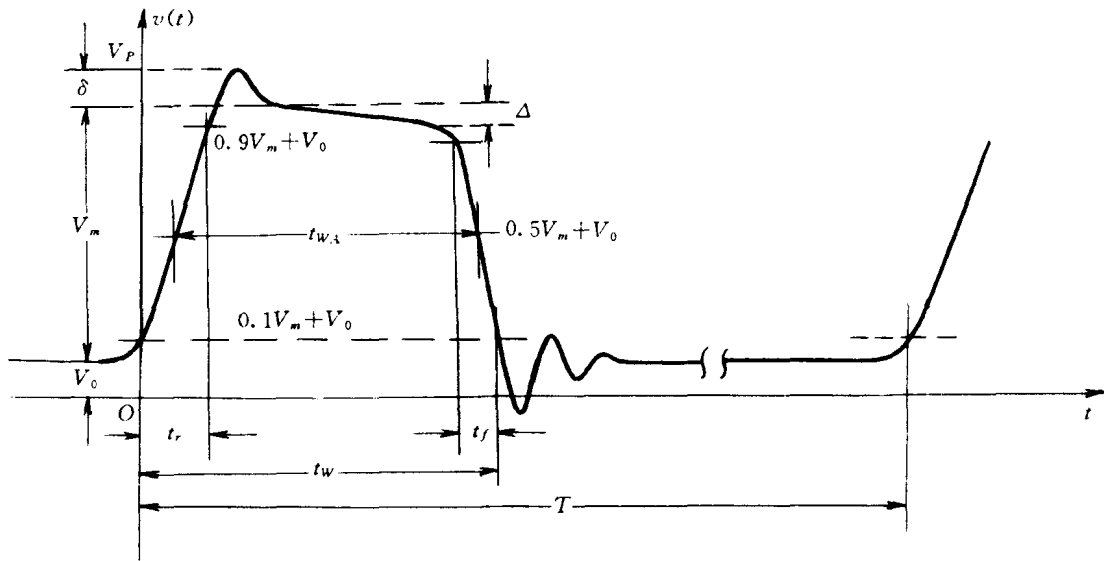


图 1-2 脉冲波形的参数

可以看出,脉冲还有正、负极性之分,脉冲电压自起始电平向上变化的,便为正脉冲;反之,向下变化的则是负脉冲。对正脉冲而言,前沿就是上升沿,后沿则为下降沿;而对负脉冲, t_f 是前沿时间, t_r 则成为后沿时间。

对图 1-1 中列举的锯齿波及钟形脉冲等,按使用的要求,还可以指定一些专门的参数,这将在讨论它们时再作说明。

图 1-1 或 1-2 所示的都是视频脉冲。众所周知,脉冲的宽度愈窄,或边沿愈陡,它的频谱就

愈宽,低频端可到直流分量,高频端则可达数十兆赫的视频分量。本书所讨论的脉冲电压或电流,其宽度多数在微秒(μs)、毫秒(ms)的量级,而边沿时间则可短到纳秒(ns)量级;电压则在数伏(V)至数十伏,而电流则主要在微安(μA)到毫安(mA)量级。参数在这样范围内的脉冲信号,是目前在电子设备或线路实验中最常遇到的。

1-1-2 数字波形的概念

将某种脉冲波形赋以特定的数字含义后,就可称为数字信号。应用最广的二电平数字信号,就是以矩形脉冲的有无,代表**1**和**0**两个数字,如图1-3的 v_1 和 v_2 等波形所示。

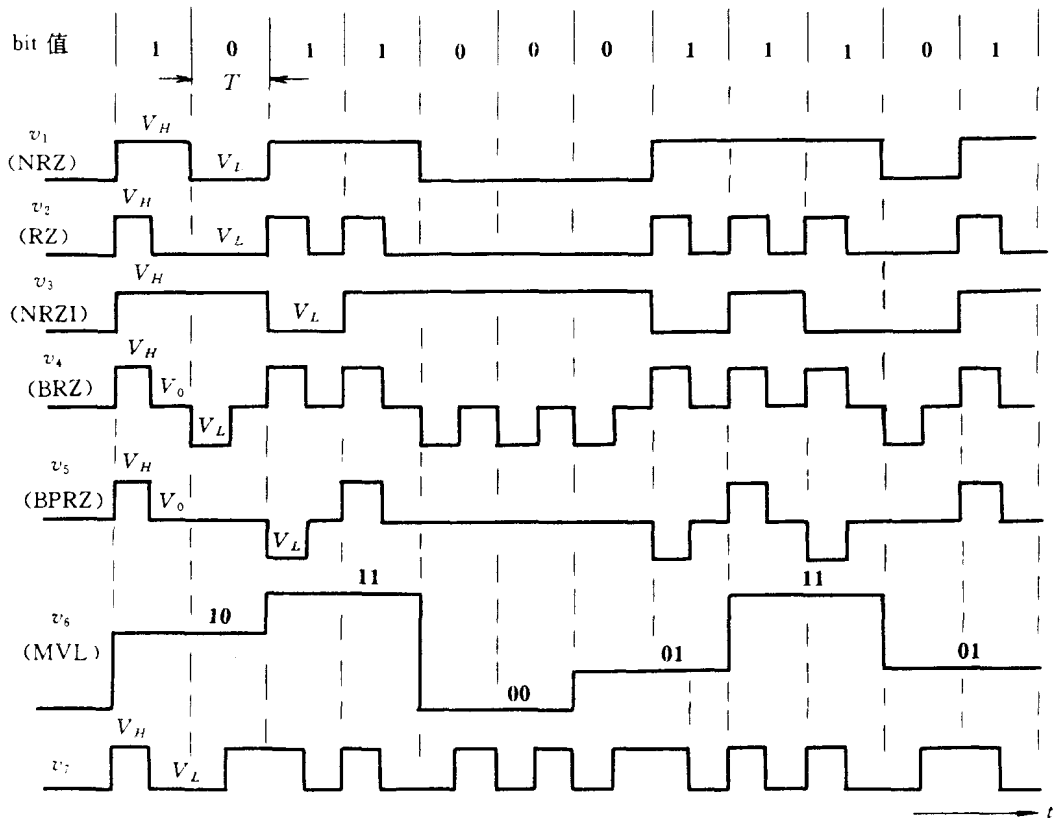


图 1-3 串行数字信号的不同码型

图中, v_1 和 v_2 表示的都是二电平数字信号,代表数字...**101100011101**...。它们都是以矩形脉冲的较高电平 V_H 代表数字**1**,以较低电平 V_L 代表数字**0**。通常,将 v_1 的波形称作电位式,即非归零(NRZ)^①信号,它表示**1**的高电平 V_H 占据该数位时间 T 的全部;波形 v_2 则为脉冲式,或归零(RZ)^②信号,即表示**1**的高电平 V_H 仅占该数位时间 T 的一部分。与 v_1 相比, v_2 的波形中较易提取位同步时钟信号。

图中 v_3 则是叫做NRZI^③的非归零信号,因为它是由IBM公司提出的,且相邻码元间有相关性。可以看出,当码元从**1**→**0**或**0**→**0**时,电平不变;而从**0**→**1**或**1**→**1**时,则改变电平。因为它是电平跳变次数最少的码元,对器件的性能要求就较低。

① Non-Return-to-Zero
② Return-to-Zero
③ Non-Return-to-Zero-IBM