

高等学校教材

脉冲与数字电路

(第二版)

王毓银 编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书为1984年出版的《脉冲与数字电路》的修订版。经国家教育委员会高等学校工科电工课程教学指导委员会电子线路课程教学指导小组委托清华大学刘宝琴副教授审阅,同意作为高等学校教材出版。

全书共十章,主要内容有:绪论、逻辑函数及其简化、晶体管开关特性、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲单元电路、大规模集成电路、模/数转换器与数/模转换器。各章末均有习题;书末并有附录,特别对集成电路型号命名方法、性能参数、二进制逻辑单元图形符号做了说明。

本书可作为高等学校工科电子类、通信类专业的技术基础课教材,也可供专科学校选用,还可供有关专业工程技术人员参考。

责任编辑 姚玉洁

(京)112号

高等学校教材

脉冲与数字电路

(第二版)

王敏银 编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 22.875 字数 550 000

1984年9月第1版 1992年5月第2版 1992年5月第1次印刷

印数 0001—5 640

ISBN 7-04-003861-7/TN·172

定价 8.30 元

第二版 修订说明

自《脉冲与数字电路》第一版出版至今，已有六年了。在这六年中，电子技术及其应用有了较大发展，突出的是新的器件层出不穷，中、大规模集成器件得到较广泛的应用。

本书第二版是在第一版的基础上，根据国家教育委员会批准的《脉冲与数字电路课程教学基本要求》，考虑到电子技术的发展而进行修订的。

修订版和第一版比较，有以下的变动：

1. 在课程体系上，基本上保持了第一版的体系，作了局部调整。将第一版中第三章逻辑函数及其简化调至第二章，主要考虑逻辑代数这部分内容学生容易接受，同时，可以使“脉冲与数字电路”课程与“电子线路(I)”课程同时并行开设。在部分章节中对内容讲授次序也作了些调整，主要是第五章组合逻辑电路和第七章时序逻辑电路中，结合讲授分析方法，介绍各种中规模集成器件。在讲授设计方法时，把采用LSI和MSI进行设计并列讲授。第八章脉冲单元电路中，将分立元件脉冲电路、逻辑门构成的脉冲电路、集成脉冲电路并行讲授，这样有利于比较，同时避免重复讲述原理。

2. 在课程内容上，增强了CMOS电路和中、大规模集成电路的比例。在第四章逻辑门电路中，将CMOS门电路单独列为一节，增强了CMOS基本原理及外部特性的介绍，增加了CMOS传输门；在第五章组合逻辑电路和第七章时序逻辑电路中，增加了CMOS中规模集成器件的介绍；第六章集成触发器中，增加了

CMOS 传输门组成的边沿触发器。另外,在第五章和第七章中均增加了利用 MSI 进行组合逻辑和时序逻辑设计的内容。在第九章大规模集成电路中增加了一节可编程逻辑器件 PAL 和 GAL 的内容。PAL 和 GAL 在数字系统设计中越来越得到广泛应用,由于篇幅所限,本书仅介绍了 PAL 和 GAL 的基础知识。此外,在内容上削减了 TTL 器件及利用小规模集成器件进行逻辑设计的内容,减少了分立元件脉冲电路部分的内容。

3. 在叙述上,基本上保持第一版的可读性。

4. 本书仍以数字逻辑的基础理论、基本电路和基本分析、设计方法为重点,由于篇幅和课程学时所限,没有介绍数字系统的设计,有关数字系统的设计,可以在后续课程中进行讲授。

承蒙清华大学刘宝琴副教授认真仔细审阅了修订版原稿,提出了许多宝贵意见,编者在此致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免存在错误和不妥之处,殷切希望读者批评指正。

编 者

1991 年 9 月

第一版 编者的话

本教材是根据1980年6月高等学校工科电工教材编审委员会扩大会议审订的《脉冲与数字电路教学大纲》(草案)编写的,是无线电类专业的技术基础课教材。

本教材以数字集成电路贯穿全篇,突出和加强了数字电路内容,压缩和精简了脉冲电路部分内容。数字电路部分的研究包括两部分内容:一是讨论基本数字集成电路的工作原理和电气特性;二是分析和设计由基本集成单元电路构成逻辑功能较复杂的逻辑电路。在逻辑设计部分仍以小规模集成器件作为基本器件讨论设计方法,但注意到中、大规模器件已逐渐成为数字系统的“积木式”部件,因此本教材中加强了中规模集成电路的介绍和应用,并适当介绍了大规模集成存储器的基本原理和典型应用。脉冲电路部分介绍了脉冲波形产生、变换、整形常用电路的基本原理和主要参数的计算。将分立元件脉冲单元电路和用集成逻辑门构成脉冲单元电路合在一章进行讨论,以期减少基本概念的重复。

在编写时,力求突出重点,使基本概念明确清晰,努力贯彻教材要少而精和理论联系实际的精神。在每章末都附有一定数量的习题,帮助学生加深对课程内容的理解,部分习题有一定深度,以使学生在深入掌握课程内容的基础上扩展知识。

本课程内容讲授学时约85学时,其中有些章节(打*号者)可以根据情况作为自学或选学内容处理。

1979年编者与汪雍、刘元干、黄敦慎等同志合编一本“脉冲与数字电路”讲义,1982年编者对1979年讲义进行了修订。本教材

是在 1982 年讲义基础上,根据高等学校工科电工教材编审委员会电子线路编审小组评审会议的意见修改而成的。在编写过程中,北京邮电学院二系数字技术教研室丁韵玲、章文芝、曲凤英等同志,北京邮电学院分院王启智同志,重庆邮电学院谭孝华同志给予了很大帮助,北方交通大学孙肇燾教授进行了认真细致的复审,在此一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免仍存在错误和不妥之处,殷切希望读者批评指正。

编 者

1984 年 9 月

目 录

第一章 绪论	1
一、脉冲信号.....	1
二、数字信号.....	3
三、数制及其转换.....	4
四、二-十进制代码 (BCD 代码).....	11
五、算术运算与逻辑运算.....	14
六、数字电路.....	15
七、本课程的任务和性质.....	15
习题.....	16
第二章 逻辑函数及其简化	18
第一节 逻辑代数	18
一、基本逻辑.....	18
二、基本逻辑运算.....	21
三、真值表与逻辑函数.....	27
四、逻辑函数相等.....	29
五、三个规则.....	32
六、常用公式.....	34
七、逻辑函数的标准形式.....	36
第二节 逻辑函数的简化	40
一、公式化简法 (代数法).....	42
二、图解法 (卡诺图法).....	44
* 第三节 逻辑函数的系统简化法	65
一、求全部主要项.....	66
二、选取实质主要项.....	69
三、选取主要项建立函数最简式.....	70
习题.....	77

第三章 晶体管开关特性	80
第一节 PN 结扩散区少数载流子的浓度分布	80
一、无外加电压时 PN 结的少子浓度分布.....	81
二、外加正向电压时 PN 结的少子浓度分布.....	81
三、外加反向电压时 PN 结的少子浓度分布.....	83
四、PN 结的电容效应.....	83
第二节 晶体二极管开关特性	84
一、二极管稳态开关特性.....	85
二、瞬态开关特性.....	87
三、晶体二极管开关参数.....	91
第三节 晶体二极管限幅器及钳位器	93
一、二极管限幅器.....	93
二、二极管钳位器.....	101
第四节 晶体三极管开关特性	104
一、稳态开关特性.....	104
二、瞬态开关特性.....	111
三、晶体三极管开关参数.....	118
第五节 晶体三极管反相器	120
一、晶体三极管反相器工作原理.....	120
二、反相器的带负载能力.....	126
习题.....	129
第四章 逻辑门电路	135
第一节 分立元件门电路	135
一、二极管门电路.....	135
二、三极管门电路.....	139
第二节 TTL 集成逻辑门	141
一、晶体管-晶体管逻辑门电路(TTL).....	142
二、TTL 与非门的主要外部特性.....	145
三、TTL 或非门、异或门、三态输出门等.....	158
四、其它系列 TTL 门电路.....	166

第三节 发射极耦合逻辑(ECL)门	171
第四节 MOS 逻辑门	174
一、MOS 晶体管	175
二、MOS 反相器和门电路	181
第五节 CMOS 电路	188
一、CMOS 反相器工作原理	188
二、CMOS 反相器的电压传输特性和电流传输特性	189
三、CMOS 反相器的输入特性和输出特性	193
四、电源特性	197
五、CMOS 传输门	198
六、CMOS 逻辑门电路	201
七、CMOS 电路的锁定效应及正确使用方法	206
习题	209
第五章 组合逻辑电路	216
第一节 组合逻辑电路分析	217
一、全加器	218
二、编码器	223
三、译码器	227
四、数值比较器	234
五、数据选择器	239
六、奇偶检验/产生电路	245
第二节 组合逻辑电路设计	249
一、采用小规模集成器件的组合逻辑电路设计	249
二、采用中规模集成器件实现组合逻辑函数	269
第三节 组合逻辑电路的冒险现象	286
一、逻辑冒险与功能冒险	286
二、如何判断在一些输入信号发生变化时的冒险现象	290
三、如何避免冒险	292
习题	294

第六章 集成触发器	300
第一节 基本触发器	300
一、基本触发器电路组成和工作原理	300
二、基本触发器功能的描述	302
第二节 钟控触发器	305
一、钟控 RS 触发器	305
二、钟控 D 触发器	307
三、钟控 JK 触发器	308
四、钟控 T 触发器和 T' 触发器	310
五、电位触发方式的工作特性	311
第三节 主从触发器	313
一、主从触发器基本原理	313
二、主从 JK 触发器主触发器的一次翻转现象	316
三、主从 JK 触发器集成单元	318
四、集成主从 JK 触发器的脉冲工作特性	321
第四节 边沿触发器	323
一、维持-阻塞触发器	323
二、后沿触发的边沿触发器	328
三、CMOS 传输门构成的边沿触发器	332
第五节 触发器类型转换	335
习题	337
第七章 时序逻辑电路	341
第一节 时序逻辑电路概述	341
第二节 时序逻辑电路分析	344
一、时序逻辑电路的分析步骤	345
二、寄存器、移位寄存器	349
三、同步计数器	362
四、异步计数器	375
*五、电位异步时序电路分析	382

*第三节 时序逻辑电路的竞争冒险现象	388
一、脉冲异步时序电路的竞争—冒险现象	389
二、电位异步时序电路的竞争现象	393
第四节 时序逻辑电路设计	396
一、时序逻辑电路设计的一般步骤	396
二、采用小规模集成器件设计同步计数器	413
三、采用小规模集成器件设计异步计数器	424
四、采用中规模集成器件实现任意模值计数(分频)器	430
*第五节 序列信号发生器	444
一、设计给定序列信号的产生电路	445
二、根据序列循环长度 M 的要求设计产生电路	451
习题	459
第八章 脉冲单元电路	469
第一节 分立元件脉冲单元电路	469
一、集-基耦合双稳态触发器	469
二、射极耦合双稳态触发器(施密特触发器)	476
三 集-基耦合单稳态触发器	486
四、自激多谐振荡器	493
第二节 集成门构成的脉冲单元电路	499
一、集成门构成的施密特触发器	500
二、集成门构成的单稳态触发器	506
三、集成单稳态触发器	513
四、集成门构成的多谐振荡器	522
第三节 555 定时器及其应用	530
一、555 定时器的电路结构	530
二、用 555 定时器构成施密特触发器	531
三、用 555 定时器构成单稳态触发器	533
四、用 555 定时器构成多谐振荡器	535
习题	538

第九章 大规模集成电路	545
第一节 动态 MOS 门	546
一、动态有比 MOS 反相器.....	546
二、动态无比 MOS 反相器.....	548
三、动态 MOS 基本门电路.....	550
第二节 动态 MOS 移位寄存器	551
一、两相动态移位寄存器.....	551
二、移位寄存器的应用.....	555
第三节 随机存储器 (RAM)	557
一、六管静态存储单元.....	559
二、动态存储单元.....	560
三、RAM 的扩展.....	564
第四节 只读存储器 (ROM) 和可编程序只读存储器 (PROM)	567
一、只读存储器 (ROM).....	568
二、可编程只读存储器 (PROM).....	572
三、可擦除可编程 ROM (EPROM 和 EAROM).....	574
四、用 ROM 实现组合逻辑函数.....	578
五、可编程逻辑阵列 (PLA).....	580
第五节 专用集成电路 ASIC	583
一、可编程阵列逻辑器件 PAL.....	587
二、通用阵列逻辑器件 GAL.....	592
第六节 集成注入逻辑 (I^2L)	604
一、 I^2L 的基本结构.....	605
二、 I^2L 电路的基本逻辑.....	606
三、 I^2L 存储器.....	608
第七节 电荷传输器件 (CTD)	610
一、电荷耦合器件 (CCD).....	610
二、屏斗器件 (BBD).....	612
三、表面电荷晶体管 (SCT).....	613

四、应用	614
习题	618
第十章 模/数转换器与数/模转换器	619
第一节 转换系统	619
一、数字控制系统	619
二、数据传输系统	620
三、自动测试和测量设备	621
第二节 数/模(D/A)转换器	621
一、D/A转换器原理简介	621
二、D/A转换器电路	623
三、D/A转换器的转换精度与转换速度	634
第三节 模/数(A/D)转换器概述	638
一、采样	638
二、采样-保持电路	640
三、量化与编码	641
第四节 模/数(A/D)转换器	643
一、V-T变换型A/D转换器	644
二、双积分式A/D转换器	646
三、V-F变换型A/D转换器	649
四、计数斜坡式A/D转换器	652
五 逐次逼近型A/D转换器	653
六、并联型A/D转换器	657
七、串并型A/D转换器	660
第五节 集成A/D转换器	661
一、双积分型集成A/D转换器	662
二、逐次逼近型集成A/D转换器	666
三、A/D转换器的转换精度与转换速度	668
习题	669

附录一 半导体集成电路型号命名方法·····	670
附录二 集成电路主要性能参数·····	672
附录三 二进制逻辑单元图形符号说明·····	681
主要参考资料·····	711
汉英名词对照·····	712

第一章 绪 论

脉冲与数字电子技术已经广泛地应用于电视、雷达、通信、电子计算机、自动控制、电子测量仪表、核物理、航天等各个领域。例如，在通信系统中，应用数字电子技术的数字通信系统，它不仅比模拟通信系统抗干扰能力强、保密性好，而且还能应用电子计算机进行信息处理和控制在，形成以计算机为中心的自动交换通信网；在测量仪表中，数字测量仪表不仅比模拟测量仪表测量精度高、测试功能强，而且还易实现测试的自动化和智能化。随着集成电路技术的发展，尤其是大规模和超大规模集成器件的发展，使得各种电子系统可靠性大大提高，设备的体积大大缩小，各种功能尤其是自动化和智能化程度大大提高。因此，“脉冲与数字电路”已成为电子工程各专业的关键技术基础课之一。

一、脉冲信号

狭义地说，脉冲信号是指一种持续时间极短电压或电流波形。从广义上讲，凡不具有连续正弦形状的信号，几乎都可以通称为脉冲信号。如图 1-1 所示的各种波形，图 1-1 中 (a) 是方波，(b) 是矩形波，(c) 是尖顶脉冲，(d) 是锯齿波，(e) 是钟形脉冲。这些脉冲波形都是时间函数，但它们的幅值变化有突变点，有的有缓慢变化部分和快速变化部分，

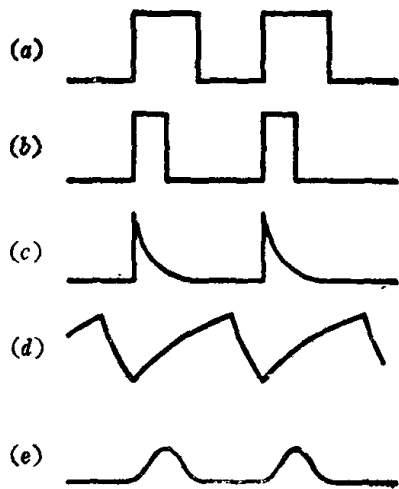


图 1-1 脉冲波形

有的有变化部分和不变部分。

最常见的脉冲电压波形是方波和矩形波，如图 1-1(a) 和 (b) 所示。理想的方波和矩形波突变部分是瞬时的，不占用时间。但实际中，脉冲电压从零值跃升到最大值时，或从最大值跃降到零值时，都需要经历一定时间。图 1-2 所示为矩形脉冲信号的实际波形图。图中， V_m 是脉冲信号的幅度； t_r 是脉冲信号的上升时间，又称前沿，它是指脉冲信号由 $0.1V_m$ 上升至 $0.9V_m$ 所经历的时间； t_f 是脉冲信号的下降时间，又称后沿，它是指脉冲信号由 $0.9V_m$ 下降至 $0.1V_m$ 所经历的时间； T 为脉冲信号的周期； t_w 是脉冲信号持续时间，又称脉宽，它是指脉冲信号上升至 $0.5V_m$ 处至下降到 $0.5V_m$ 之间的时间间隔。在一个周期中， $(T-t_w)$ 称为脉冲休止期。

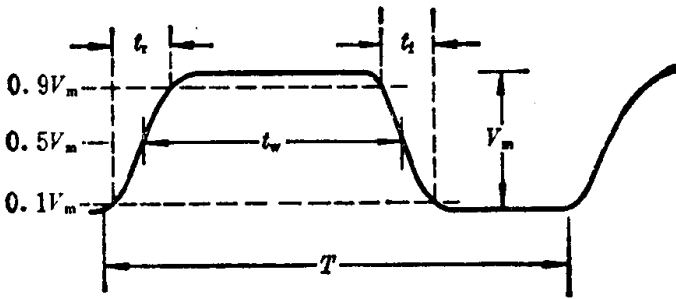


图 1-2 实际的矩形脉冲波形

脉冲电路是用来产生和处理脉冲信号的电路。脉冲电路可以用分立晶体管、场效应管作为开关和 RC 或 RL 电路构成，也可以由集成门电路或集成运算放大器和 RC 充放电电路构成。常用的有脉冲波形的产生、变换、整形等电路，如双稳态触发器、单稳态触发器、自激多谐振荡器、射极耦合双稳态触发器(施密特电路)及锯齿波电路。

二、数字信号

在自然界中,存在着许许多多的物理量。例如,时间、温度、压力、速度等等,它们在时间和数值上都具有连续变化的特点,这种连续变化的物理量,习惯上称为模拟量。把表示模拟量的信号叫做模拟信号。例如,正弦变化的交流信号,它在某一瞬间的值可以是一个数值区间内的任何值。

还有一种物理量,它们在时间上和数值上是不连续的,它们的变化总是发生在一系列离散的瞬间,它们的数值大小和每次的增减变化都是某一个最小单位的整数倍,而小于这个最小量单位的数值是没有物理意义的。例如,工厂中生产的产品的个数,它们只能在一些离散的瞬间完成产品,而且产品的个数也只能一个单位一个单位地增减。这一类物理量叫做数字量。把表示数字量的信号叫做数字信号。工作在数字信号下的电路叫做数字电路。

在数字电路中采用只有 0、1 两种数值组成的数字信号。一个 0 或一个 1 通常称为 1 比特,有时也将一个 0 或一个 1 的持续时间称为一拍。对于 0 和 1 可以用电位的低和高来表示,也可以用脉冲信号的无和有来表示。如图 1-3 中,(a)为数字信号 1101110010,(b)是以高电平表示 1,低电平表示 0 的数字信号波形,称为电位

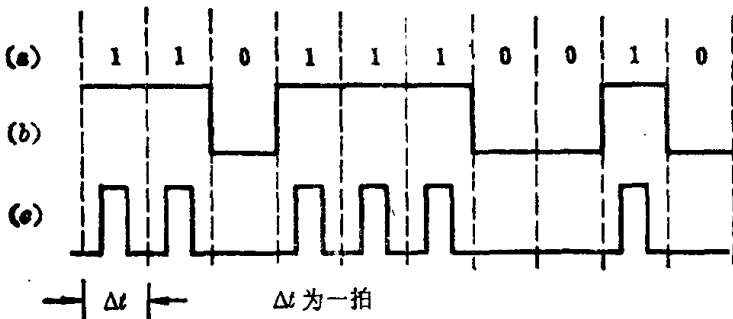


图 1-3 数字信号