

Technology
实用技术

数字电子技术 全程辅导及实例详解

肖 看 王贞炎 编

SHUZIDIANZIJISHU



科学出版社

数字电子技术 全程辅导及实例详解

肖 看 王贞炎 编



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍数字电子技术的基本原理和分析方法,通过大量实例阐述数字电子器件的工作原理、数字电子线路的设计方法和集成数字电路的应用等方面的问题。

全书共分十一章。前四章分别讲述逻辑基础、门电路、可编程器件与 Verilog HDL 基础、布尔逻辑与化简等数字电路的逻辑基础与器件基础。第 5 章着重介绍常见的组合逻辑电路。时序逻辑电路安排了 6、7 两章介绍,第 6 章阐述锁存器和触发器的原理与特点,第 7 章介绍典型的时序逻辑电路。组合逻辑电路和时序逻辑电路均介绍常用的 Verilog HDL 描述方法。第 8~第 10 章分别介绍存储器、脉冲波形的产生与整形及数模模数转换,覆盖面较宽。本书的最后一章即第 11 章重点介绍数字系统设计中要考虑的一些实际因素,增强了本书的实用性与工程性。

本书适合电气、电子、信息技术类和计算机科学类专业的学生和教师,以及相关工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术全程辅导及实例详解/肖看,王贞炎编. —北京:科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-037645-9

I. 数… II. ①肖…②王… III. 数字电路-电子技术-高等学校-教学参考资料 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 116763 号

责任编辑:王 炜 杨 凯 / 责任制作:魏 谨

责任印制:魏 谨 / 封面设计:赵志远

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京东华印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 6 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2013 年 6 月第一次印刷 印张: 27

印数: 1—3 000 字数: 499 000

定 价: 55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前言

从 19 世纪末、20 世纪初开始,电子技术发展最迅速、应用最广泛,成为近代科学技术发展的一个重要标志。进入 21 世纪,人们面临的是以微电子技术、电子计算机和因特网为标志的信息社会。信息社会的技术基石是数字化技术,数字化技术正在引发一场范围广泛的产品革命,如数字电视、数字广播、数字电影、移动终端等各种家用电器设备、信息处理设备等都向数字化方向变化与发展。因此,掌握好数字电子技术,是对相关专业大学生们的基本要求。

本书改编自美国纽约州立大学 William Kleitz 教授编著的教材 *Digital Electronics: A Practical Approach* (中文译名:《数字电子技术》)(第 7 版)。该书原版教材已经被美国 120 多所大学所采用。本书在尽量保留原书风貌的同时,对原书内容做了一定程度的删减、调整与篇幅控制,同时加入了一部分内容以适应国内的“数字电子技术”课程的教学风格,期望能给国内的读者提供一份非常实用的参考材料。

本书系统介绍数字电子技术的基本原理与分析方法,通过大量的实例阐述数字电子器件的工作原理、数字电子线路的设计方法及集成数字电路的应用等方面的问题。全书共分 11 章,内容覆盖数字逻辑基础、逻辑门、可编程器件基础、VerilogHDL 硬件描述语言基础、布尔代数与化简、典型组合逻辑电路、锁存器、触发器、典型时序逻辑电路、半导体存储器、脉冲波形产生与整形、数模与模数转换等相关知识。

本书重视对读者分析能力和实践技能的培养,强调读者独立思考,要求读者能够根据所学知识不断扩展知识领域,具备随着技术进步不断获得新知识的能力。

本书的突出特点是“实践性”,具体体现在以下几个方面:

(1) 各种集成电路应用实例遍布全书。各应用电路皆由“实际”芯片搭建,电路分析的基础源于实际芯片制造厂商的数据手册。

(2) 理论介绍、典型电路分析和仿真实验并举。本书语言浅显易懂,理论阐述清晰透彻,结合实际电路分析思路清晰、层次分明,充分利用现代电子技术 CAD

手段,引入 Proteus 和 CPLD/FPGA 软件,为读者理解数字电子技术理论、分析数字电子线路、进行数字系统的研究与实现提供必要的条件,使读者实际接触电子工程师的工作领域,为进一步实践奠定基础。

(3) 通过大量应用型例题提高读者的应用能力。书中各章提供各种类型的实践性很强的例题给读者练习。通过这些例题的练习与掌握,可以大大地提高读者实际电路的分析能力,基本理论和设计方法的实际应用能力,电子技术 CAD 软件的操作能力以及实际数字系统的认识与故障排查能力。

本书由肖看主编,王贞炎同志编写了第 3 章,其余章节由肖看编写。庄严、洪攀峰、熊诗伟、曾庆、刘伟等人参与了书中部分章节的文字录入与校对工作,在此表示感谢。

由于我们的水平和能力有限,加之编写时间较为仓促,书中难免存在一些疏漏,恳请读者批评指正,以便改进。

编 者

目 录

第 1 章 数字逻辑基础

1.1 数字量与模拟量	2
1.2 数 制	4
1.2.1 十进制(基数 10)	4
1.2.2 二进制(基数 2)	5
1.2.3 十-二进制转换	5
1.2.4 八进制(基数 8)	7
1.2.5 八进制转换	7
1.2.6 十六进制(基数 16)	8
1.2.7 十六进制转换	9
1.3 码 制	10
1.3.1 二进制补码	10
1.3.2 BCD 码	12
1.3.3 ASCII 码	13
1.4 数字信号与开关	14
1.4.1 数字信号	14
1.4.2 电路开关	14
1.4.3 继电器开关	15
1.4.4 二极管开关	17
1.4.5 晶体管开关	18
1.4.6 TTL 集成电路	20
1.4.7 CMOS 集成电路	23
1.4.8 开关电路的 Proteus 仿真	23
1.5 小 结	24

第 2 章 逻辑门

2.1 基本逻辑门	28
2.1.1 与 门	28
2.1.2 或 门	29
2.1.3 时序分析	31
2.1.4 允许和禁止功能	32
2.1.5 集成逻辑门的应用	33
2.1.6 故障排查技术简介	33
2.1.7 非 门	37
2.2 其他逻辑门	37
2.2.1 与非门	37
2.2.2 或非门	39
2.2.3 异或门	40
2.2.4 同或门	41
2.2.5 奇偶发生器/校验器	43
2.3 逻辑电路类型与工作特性	46
2.3.1 TTL 电路	47
2.3.2 TTL 电路电压与电流额定值	48
2.3.3 TTL 电路的其他参数	53
2.3.4 改进型 TTL 电路	58
2.3.5 CMOS 电路	59
2.3.6 发射极耦合逻辑电路	64
2.3.7 逻辑电路比较	65
2.3.8 逻辑电路连接	67
2.4 小 结	72

第 3 章 可编程器件与硬件描述语言基础

3.1 PLD 的设计流程	76
3.2 PLD 的结构	79
3.2.1 SPLD	79
3.2.2 CPLD	80
3.2.3 FPGA	81
3.2.4 应用 PLD 实现基本逻辑电路设计	81
3.3 Verilog HDL 基础	85
3.3.1 标识符	86

3.3.2 注 释	86
3.3.3 格 式	86
3.3.4 数字值集合	87
3.3.5 数据类型	88
3.3.6 寄存器类型	89
3.3.7 运算符和表达式	90
3.3.8 结构建模	96
3.3.9 数据流建模	101
3.3.10 行为建模	103
3.4 小 结	107

第 4 章 布尔代数与化简

4.1 组合逻辑	110
4.2 布尔代数定律和运算规则	112
4.2.1 布尔代数定律	112
4.2.2 布尔代数运算规则	113
4.2.3 应用布尔代数进行组合逻辑化简	117
4.3 德·摩根定理与应用	120
4.3.1 德·摩根定理	120
4.3.2 圆圈变换法	125
4.3.3 与非门和或非门的通用性	126
4.3.4 利用与-或-非门实现乘积和表达式	131
4.4 卡诺图	133
4.5 CPLD 设计应用	140
4.6 小 结	143

第 5 章 组合逻辑电路

5.1 算术运算与电路	146
5.1.1 二进制运算	146
5.1.2 二进制补码运算	151
5.1.3 BCD 码运算	152
5.1.4 算术运算电路	153
5.1.5 二进制补码加法器/减法器电路	158
5.1.6 BCD 码加法电路	159
5.1.7 BCD 码加法器仿真	161

5.1.8 算术/逻辑单元	161
5.2 比较器	163
5.3 译码器	165
5.3.1 三位二-八进制译码器	166
5.3.2 八进制译码器 IC	168
5.3.3 八进制译码器仿真	171
5.3.4 BCD 码译码器 IC	172
5.3.5 十六进制译码器 IC	172
5.4 编码器	175
5.4.1 十进制-BCD 码编码器	176
5.4.2 BCD 码编码器仿真	177
5.4.3 八进制-二进制编码器	178
5.5 代码转换器	180
5.5.1 BCD 码与二进制码之间的转换	180
5.5.2 应用 74148 将 BCD 码转换为二进制码	181
5.5.3 BCD 码-7 段码转换器	184
5.5.4 格雷码	187
5.5.5 格雷码转换	187
5.6 多路转换器	188
5.6.1 8 线多路转换器 74151	190
5.6.2 74151 多路转换器仿真	191
5.6.3 由多路转换器实现的组合逻辑功能	193
5.7 多路分配器	194
5.8 组合逻辑电路的 Verilog 建模	197
5.9 CPLD 设计应用	199
5.10 小 结	202

第 6 章 锁存器与触发器

6.1 锁存器	204
6.1.1 基本 RS 锁存器	204
6.1.2 门控 RS 锁存器	207
6.1.3 门控 D 锁存器	208
6.1.4 集成 D 锁存器	209
6.2 触发器	210
6.2.1 JK 触发器	210

6.2.2 T 触发器	214
6.2.3 D 触发器	216
6.2.4 D 触发器功能转换	220
6.3 锁存器与触发器的 Verilog 建模	222
6.4 小 结	224

第 7 章 时序逻辑电路

7.1 概 述	228
7.1.1 时序逻辑电路的模型	228
7.1.2 时序逻辑电路的分类	228
7.1.3 时序逻辑电路的表达	229
7.1.4 时序逻辑电路的分析	229
7.2 寄存器和移位寄存器	232
7.2.1 8 位寄存器	232
7.2.2 移位寄存器基础	232
7.2.3 集成移位寄存器	238
7.2.4 移位寄存器系统设计应用	246
7.2.5 用移位寄存器驱动步进电机	250
7.2.6 三态缓冲器与收发器	255
7.3 计数器	258
7.3.1 纹波计数器	258
7.3.2 N 分频纹波计数器设计	263
7.3.3 集成纹波计数器	270
7.3.4 同步计数器	280
7.3.5 集成同步加/减计数器	283
7.3.6 环形移位计数器和 Johnson 移位计数器	293
7.4 时序逻辑电路的 Verilog HDL 建模	295
7.4.1 移位寄存器的 Verilog 建模	295
7.4.2 计数器的 Verilog 建模	296
7.5 CPLD 设计应用	296
7.6 小 结	299

第 8 章 存储器

8.1 存储器的概念	302
8.2 静态 RAM	305

8.3 动态 RAM	311
8.3.1 读周期时序图	313
8.3.2 写周期时序图	313
8.3.3 刷新周期时序图	313
8.3.4 动态 RAM 控制器	314
8.4 只读存储器	316
8.4.1 掩模 ROM	317
8.4.2 熔丝 PROM	317
8.4.3 EPROM、EEPROM 和快闪存储器	318
8.5 存储器的扩展与地址译码	323
8.6 磁存储器和光存储器	327
8.6.1 磁存储器:软盘和硬盘	328
8.6.2 光存储器:CD、CD-R、CD-RW 和 DVD	330
8.7 小 结	331

第 9 章 脉冲波形的产生与整形

9.1 施密特触发器	334
9.2 单稳态触发器	338
9.2.1 电容充放电速率	338
9.2.2 单稳态多谐振荡器	341
9.2.3 集成单稳态多谐振荡器	343
9.2.4 可重复触发单稳态多谐振荡器	346
9.3 多谐振荡器	349
9.4 晶体振荡器	351
9.5 555 定时器及其应用	352
9.5.1 555 定时器的非稳态运行	352
9.5.2 555 非稳态多谐振荡器仿真	356
9.5.3 555 定时器的单稳态运行	358
9.6 小 结	359

第 10 章 数模转换与模数转换

10.1 预备知识	362
10.1.1 数字量和模拟量表示	362
10.1.2 运算放大器基础	363
10.2 数模转换器	364

10.2.1 二进制权 D/A 转换器	364
10.2.2 R/2R 梯形 D/A 转换器	365
10.2.3 集成 D/A 转换器电路	367
10.2.4 集成数据转换器电路说明	370
10.3 模数转换器	371
10.3.1 并行编码 A/D 转换器	371
10.3.2 计数器斜坡 A/D 转换器	372
10.3.3 逐次近似 A/D 转换	373
10.3.4 集成 A/D 转换器电路	376
10.4 数据获取系统应用	380
10.4.1 模拟多路开关(AM3705)	381
10.4.2 采样保持电路(LF198)	382
10.4.3 增益可编程测量放大器(LH0084)	382
10.4.4 模数转换器(ADC0804)	383
10.5 传感器和信号调节	383
10.5.1 热敏电阻	383
10.5.2 线性集成温度传感器电路	384
10.5.3 应变测量仪	386
10.6 小 结	387

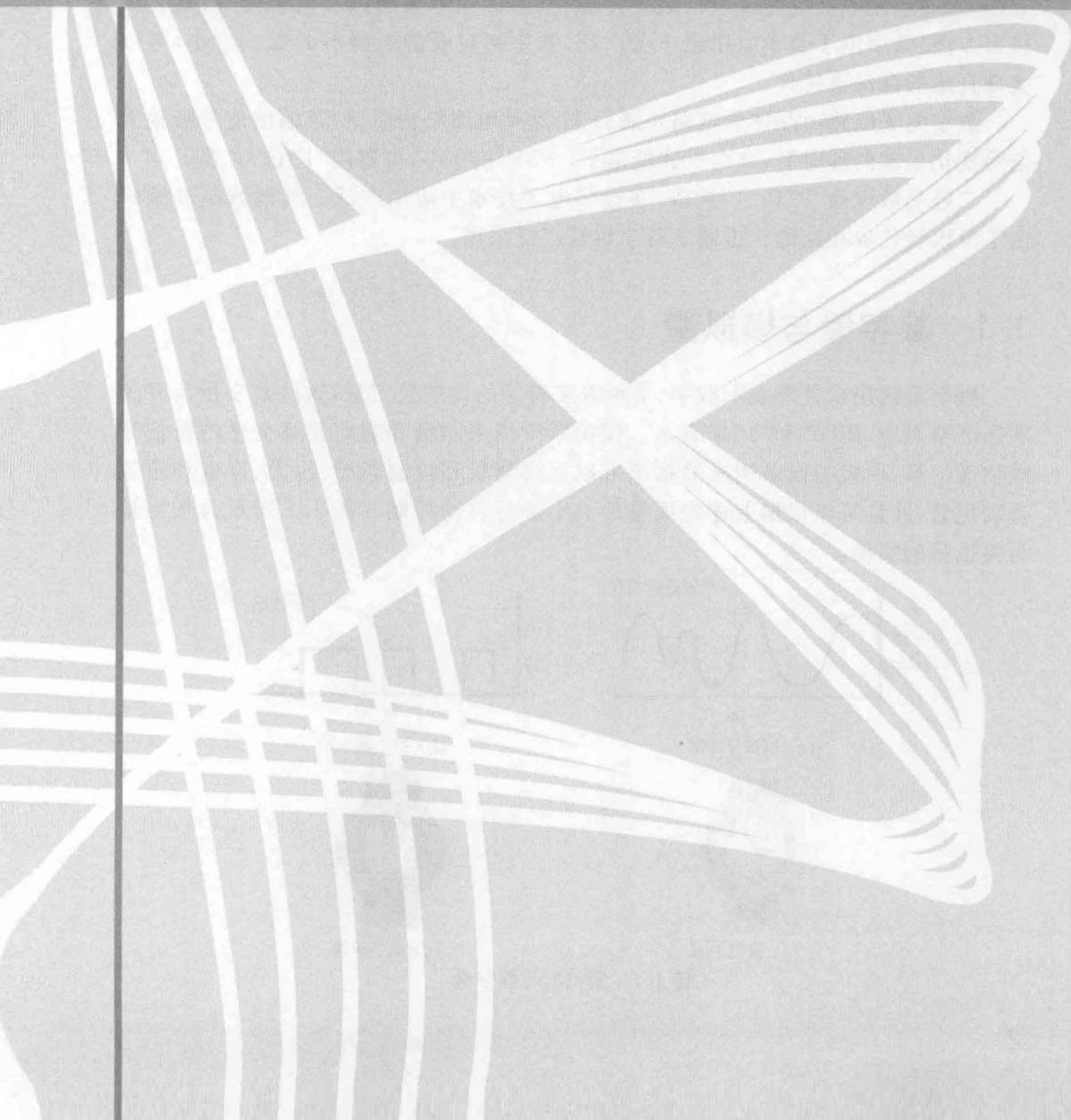
第 11 章 数字电路设计的考虑因素

11.1 组合逻辑电路的竞争-冒险现象	390
11.2 触发器时间参数	392
11.3 自动复位	406
11.4 开关去抖动	407
11.5 上拉电阻阻值的确定	410
11.6 实际输入输出信号考虑	411
11.6.1 5V 电源	411
11.6.2 50Hz 时钟	411
11.6.3 发光二极管驱动	412
11.6.4 自锁警报系统的光电晶体管输入端	413
11.6.5 利用光耦合器进行电平移位	414
11.6.6 带光电断续开关的事件计数	414
11.6.7 功率 MOSFET 在继电器和交流电机驱动中的应用	416
11.6.8 利用模拟比较器进行电平检测	417

11.6.9 使用霍尔效应开关作为数字电路输入	417
11.6.10 CPLD 或 FPGA 的多路 I/O 连接	419
11.7 小 结	420

第1章

数字逻辑基础



数字电路是数字计算机和许多控制系统的基础。现代家居中的家用电器、报警系统和供热系统多是由数字电路进行控制的。在新型汽车中,引入数字电路和微处理器控制可以使汽车具有更高的安全性能、更低的能耗,更易于检修和维护。

数字电路在自控机床、电能监控、仓储管理、医疗仪器和乐器领域也有广泛应用。例如,数控(NC)粉碎机可以由工程师事先编程设定物料的粉碎尺寸,精度可达到 0.01% ;在电能监控方面,随着电能成本的增加,对于大型工业用户和商业用户而言,电能的监测变得十分重要,高效的加热控制设备、通风设备、空调的经济运行可以极大地降低电能消耗、节约成本;在超市中,越来越多地利用通用产品码(UPC)来核对和汇总商品的销售量,同时也可以自动地进行仓储管理;在医疗仪器方面,大多应用数字电路来设计数字体温计、生命保障系统以及监视器等;在音乐拷贝方面,数字电子技术应用也十分广泛,数字拷贝受静电噪声的影响更小,可以实现音乐的高保真拷贝。

数字电子电路由晶体管电路发展而来,这种电路结构简单,其输出信号随输入信号变化呈现两种电平,高电平和低电平($+5\text{V}$ 和 0V),可以用“1”和“0”表示。

二进制数仅由“0”和“1”构成,在数字电子技术中应用广泛。其他数制和编码由于可以转化成相应的二进制字符串也被广泛采用。

1.1 数字量与模拟量

数字系统用来处理表示数字、字母或字符等的离散数字量,这些数字量与开关状态严格对应,用“0”和“1”来表示。模拟系统用来测量和响应连续变化的电信号或物理信号,由模拟设备构成的系统可以连续测量和控制温度、压力、速度和位置等物理量,并且可以根据上述物理量的大小进行自动控制。图1.1所示为数字量与模拟量的实例。

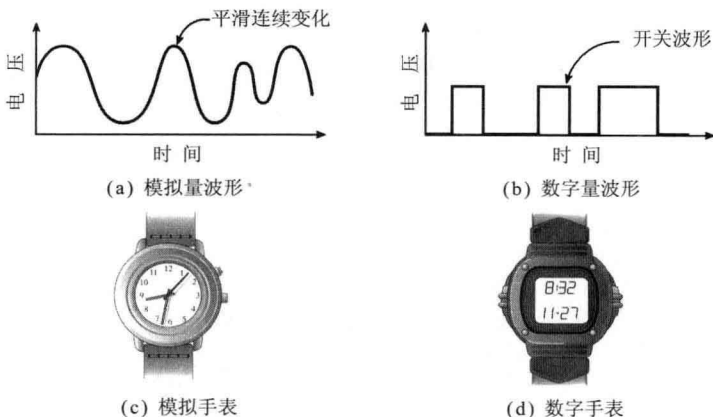


图 1.1 模拟量与数字量

在自然界中,绝大多数物理量都是模拟量,模拟信号是连续变化的,以水银温度计为例,当温度上升时,水银以模拟方式膨胀,体现为刻度上的连续平滑变化。棒球运动员挥动球棒也是一种模拟运动,音乐家敲击钢琴键的力度和速度也是模拟量,甚至钢琴弦上发出的颤音也是一个模拟量——正弦振荡。

既然如此,我们为什么还要用数字量来表示自然界的模拟量呢?这是因为如果我们想要使用电子设备来表示、传递、处理和存储模拟信息就需要先将信息转化为更便于处理的数字量。数字量的值可以由一系列开关电平的组合来表示,而开关电平可以写成“0”、“1”。

例如,模拟温度计记录的 72°F 在数字电路中可以用一系列开关电平来表示(后面我们将学到数字 72 可以转化为数字电平 0100 1000),这样做的一个显著优点就是产生、处理和存储开关(ON/OFF)电平的电路十分简单。这里我们无需处理极大幅值和跨距的模拟电压,取而代之的是开关电平(一般情况下 $+5\text{V}=\text{ON}$ 和 $0\text{V}=\text{OFF}$)。

模拟量的数字表示的一个很好的应用实例就是音频的录制,CD 和 DVD 的应用十分普及,已经被证明是录制和回放音乐的极佳方式。乐器和人类所发出的声音都是模拟信号,并且人耳接收的也是模拟信号,那么数字信号将被安排在哪里?虽然看上去有些多余,但录制工厂还是将模拟信号转化成数字格式存储在 CD 或 DVD 中,用户可以利用 CD 或 DVD 播放机将数字电平转化为相应的模拟信号进行播放。

为了使用数字量(“1”和“0”组成的字符串)精确地记录一段复杂的音乐信号,必须对模拟音乐信号进行多次采样。如图 1.2(a)所示,第 1 次采样发生在模拟信号上升部分的某一点,该点处模拟电压值为 2V , 2V 电压转化为数字量为 0000 0010,如图 1.2(b)所示。第 2 次采样仍然发生在图 1.2(a)所示的上升部分,第 3 次采样为模拟信号的峰值电平,这种采样过程贯穿于音乐录制的全过程。音乐回放为上述过程的逆过程,数模转换重现原始模拟信号(图 1.3),如果在原始模拟信号中采样点足够多,那么原始音乐的重现精度就很高。

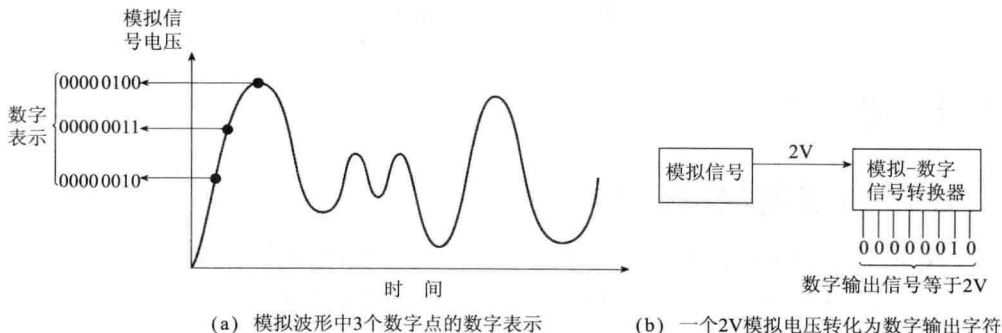


图 1.2 模拟信号到数字信号的转换

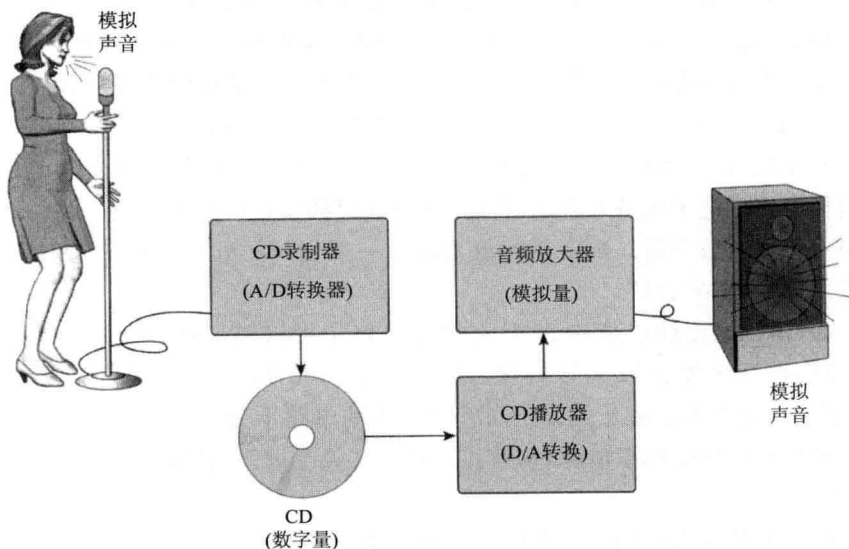


图 1.3 模拟声音到数字量的转化过程及其逆过程

这种转换当然是额外工作,但是采用数字记录方式可以消除静电噪声和与早期音频记录方法有关的磁带嘶嘶声等问题。这种改进在于当数字信号中存在微小变化时,数字信号的开关状态并未发生改变,而对应模拟信号中微小的变化则很容易被人耳所察觉,详见图 1.4。

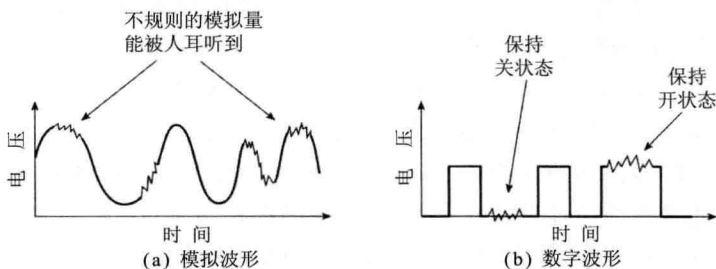


图 1.4 引入静电噪声

1.2 数制

1.2.1 十进制(基数 10)

对于十进制数而言,每一位可能是 10 个不同的数,这些数分别是 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9。多位数中每一位的加权因子是以 10 为底的幂指数。