

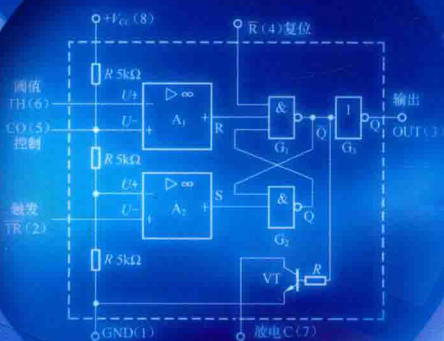
高职高专“十三五”规划教材

DIANZI JISHU JICHU(SHUIZI BUFEN)

电子技术基础

(数字部分)

杨碧石 戴春风 陆冬明 编著



 化学工业出版社

高职高专“十三五”规划教材

电子技术基础

(数字部分)

杨碧石 戴春风 陆冬明 编著



化学工业出版社

·北京·

发行部电话：010-64781000

定价：49.00元

本书介绍逻辑代数的基本知识,以及数字逻辑电路的基本分析和设计方法。全书共分8章,主要内容包括逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形产生电路、数模和模数转换电路、半导体存储器和可编程逻辑器件。本书各章后配有本章小结、本章关键术语、自测题、习题和实验与实训,便于读者巩固所学理论知识,提高分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高职高专院校电子、电气、自动化、计算机等有关专业的教材,也可作为自学者及相关技术人员参考用书。

电子技术基础

(数字部分)

杨碧石 戴春风 陆冬明 编著

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础. 数字部分/杨碧石, 戴春风, 陆冬明编著. —北京: 化学工业出版社, 2017.7

高职高专“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-29739-6

I. ①电… II. ①杨…②戴…③陆… III. ①数字电路-电子技术-高等职业教育-教材 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第111568号

责任编辑: 王听讲

责任校对: 边涛

装帧设计: 韩飞

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷: 三河市航远印刷有限公司

装订: 三河市瞰发装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张16 $\frac{1}{4}$ 字数418千字 2017年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

前 言

电子技术是目前发展最快的学科之一。眼下是一个学习的时代，知识的不断更新给学习带来了很大的压力。为学生提供一本深入浅出、通俗易懂的教材，是作者一直奋斗的目标。一本合适的教材，除了在内容方面符合规定的教学要求外，更要立足于读者的基础和需求，按照科学的认识规律，引导读者循序渐进地学习新的知识。

根据本课程各章节间的内在联系，按照循序渐进的原则，组织本书的架构；注意前后紧密配合，确定每个章节的内容和要求、目的，优先做到突出重点、分散难点，力求对不同学时和深广度要求有区别的专业都能适用。教材以“必需、够用”为度，力求少而精；从学生的实际水平出发，酌情处理文字叙述的详略和电路的复杂程度；将理论学习、电路软件仿真和实验设计有机结合。

本教材适应高职高专技术应用型人才能力的培养的需要，立足于电路的典型性以及教学的需要和实际应用，在以往类似教材的基础上，做了以下改进。

(1) 在各章节后增加了思考题，对每章节的内容做了部分调整，减少了原理性的分析、讨论，增加了中规模集成电路的芯片功能介绍和实际应用举例，以提高学生的学习技能和实际应用能力。

(2) 根据高职高专教学要求和特点，逻辑门电路这一章不对内部电路进行分析，改为介绍各种集成门电路的功能、外部特性、使用注意事项及实际应用。

(3) 增加了故障诊断部分，主要介绍故障诊断技术，讲述与该章内容相关的一些测试方法以及常见故障的排除方法。

(4) 章末增加本章小结、本章关键术语和自我测试题，还增加了实验与实训内容。

(5) 为提高学生应用 EWB 或 Multisim 的能力，在附录增加了介绍 Multisim 虚拟电子工作平台的内容，供学生课后学习和选做相关实验，有助于学生掌握用 Multisim 进行电子技术单元电路参数设计的方法，培养学生应用计算机技术进行电路调试的能力。

我们将为使用本书的教师免费提供电子教案等教学资源，需要者可以到化学工业出版社教学资源网站 <http://www.cipedu.com.cn> 免费下载使用。

本书由杨碧石、戴春风、陆冬明共同编著，杨碧石负责全书内容的总体策划与统稿。在本书编写与整理过程中，得到了杨卫东、陈兵飞、束慧、严飞、刘建兰、赵青、居金娟、王力和袁扉等的大力支持和帮助，他们对书稿提出了宝贵的意见。在此向他们表示衷心的感谢。

希望本教材能够得到专家、同行和学生的认可，欢迎广大读者对本书提出改进意见和建议。

编著者

目 录

| | |
|----------------------------|----------|
| 第 1 章 逻辑代数基础 | 1 |
| 1.1 模拟信号和数字信号 | 1 |
| 1.1.1 模拟信号和数字信号 | 2 |
| 1.1.2 模拟量的数字表示 | 3 |
| 1.1.3 数字电路的特点和分类 | 4 |
| 1.2 数制和码制 | 4 |
| 1.2.1 数制 | 4 |
| 1.2.2 码制 | 10 |
| 1.3 逻辑代数的基本运算 | 13 |
| 1.3.1 与运算(逻辑与) | 14 |
| 1.3.2 或运算(逻辑或) | 14 |
| 1.3.3 非运算(逻辑非) | 15 |
| 1.4 逻辑代数的基本定律及规则 | 17 |
| 1.4.1 基本定律 | 17 |
| 1.4.2 常用公式 | 18 |
| 1.4.3 重要规则 | 19 |
| 1.5 逻辑函数及其表示方法 | 21 |
| 1.5.1 逻辑函数 | 21 |
| 1.5.2 逻辑函数的表示方法 | 21 |
| 1.5.3 逻辑函数的两种标准形式 | 24 |
| 1.6 逻辑函数的化简 | 27 |
| 1.6.1 逻辑函数的最简表达式 | 27 |
| 1.6.2 逻辑函数的公式法化简 | 28 |
| 1.6.3 逻辑函数的卡诺图化简法 | 29 |
| 1.6.4 具有无关项的逻辑函数及其化简 | 34 |
| 1.7 数字系统一般故障的检查和排除 | 35 |
| 1.7.1 直观检查法 | 36 |
| 1.7.2 测量电阻法 | 36 |
| 1.7.3 静态测量 | 36 |
| 1.7.4 动态测量 | 36 |
| 本章小结 | 37 |
| 本章关键术语 | 37 |
| 自我测试题 | 38 |
| 习题 | 40 |

| | |
|--------------------------|-----------|
| 第 2 章 逻辑门电路 | 43 |
| 2.1 基本逻辑门 | 43 |
| 2.1.1 与门 | 43 |
| 2.1.2 或门 | 45 |
| 2.1.3 与门和或门的实际应用 | 46 |
| 2.1.4 非门 | 46 |
| 2.2 复合逻辑门 | 47 |
| 2.2.1 与非门 | 47 |
| 2.2.2 或非门 | 48 |
| 2.2.3 异或门 | 49 |
| 2.2.4 同或门 | 50 |
| 2.2.5 与或非门 | 50 |
| 2.2.6 与非门和或非门的实际应用 | 51 |
| 2.3 特殊逻辑门 | 52 |
| 2.3.1 三态逻辑门 | 52 |
| 2.3.2 集电极开路逻辑门 | 53 |
| 2.4 集成逻辑门 | 55 |
| 2.4.1 数字集成电路分类 | 55 |
| 2.4.2 TTL 集成电路逻辑门 | 56 |
| 2.4.3 CMOS 集成电路逻辑门 | 56 |
| 2.4.4 集成电路逻辑门的性能参数 | 56 |
| 2.4.5 TTL 与 CMOS 集成电路的接口 | 59 |
| 2.4.6 集成电路使用常识 | 60 |
| 2.5 故障诊断和排查 | 61 |
| 2.5.1 与门和或门的故障排查技术 | 62 |
| 2.5.2 与非门和或非门的故障排查技术 | 63 |
| 本章小结 | 64 |
| 本章关键术语 | 65 |
| 自我测试题 | 65 |
| 习题 | 67 |
| 实验与实训 | 68 |
| 第 3 章 组合逻辑电路 | 71 |
| 3.1 组合逻辑电路的特点和分类 | 71 |
| 3.1.1 组合逻辑电路的特点 | 71 |
| 3.1.2 组合逻辑电路的功能表示方法 | 72 |
| 3.1.3 组合逻辑电路的分类 | 72 |
| 3.2 组合逻辑电路的分析和设计 | 73 |
| 3.2.1 组合逻辑电路的分析 | 73 |
| 3.2.2 组合逻辑电路的设计 | 75 |
| 3.3 常用集成组合逻辑电路 | 77 |
| 3.3.1 加法器 | 77 |

| | | |
|------------|----------------|------------|
| 3.3.2 | 数值比较器 | 80 |
| 3.3.3 | 编码器 | 83 |
| 3.3.4 | 译码器 | 88 |
| 3.3.5 | 数据选择器和分配器 | 96 |
| 3.4 | 组合逻辑电路中的竞争冒险现象 | 101 |
| 3.4.1 | 竞争冒险现象的产生原因 | 101 |
| 3.4.2 | 竞争冒险现象的判断方法 | 102 |
| 3.4.3 | 竞争冒险现象的消除方法 | 102 |
| 3.5 | 故障诊断和排查 | 103 |
| 3.5.1 | 电平恒定 | 103 |
| 3.5.2 | 加法器的故障排查技术 | 103 |
| 3.5.3 | 比较器的故障排查技术 | 103 |
| 3.5.4 | 编码器的故障排查技术 | 104 |
| 3.5.5 | 译码器的故障排查技术 | 104 |
| 3.5.6 | 数据选择器的故障排查技术 | 104 |
| | 本章小结 | 104 |
| | 本章关键术语 | 105 |
| | 自我测试题 | 105 |
| | 习题 | 106 |
| | 实验与实训 | 109 |
| 第4章 | 触发器 | 113 |
| 4.1 | 基本触发器 | 114 |
| 4.1.1 | 用与非门组成的基本触发器 | 114 |
| 4.1.2 | 用或非门组成的基本触发器 | 116 |
| 4.1.3 | 基本RS触发器的特点及应用 | 117 |
| 4.2 | 同步触发器 | 119 |
| 4.2.1 | 同步RS触发器 | 119 |
| 4.2.2 | 同步D触发器 | 120 |
| 4.2.3 | 同步RS触发器的空翻问题 | 121 |
| 4.3 | 主从触发器 | 122 |
| 4.3.1 | 主从RS触发器 | 122 |
| 4.3.2 | 主从JK触发器 | 123 |
| 4.4 | 边沿触发器 | 125 |
| 4.4.1 | 边沿D触发器 | 125 |
| 4.4.2 | 边沿JK触发器 | 127 |
| 4.4.3 | 其他类型触发器 | 128 |
| 4.5 | 故障诊断和排查 | 130 |
| 4.5.1 | 基本RS触发器的故障排查技术 | 130 |
| 4.5.2 | 边沿JK触发器的故障排查技术 | 131 |
| | 本章小结 | 131 |
| | 本章关键术语 | 132 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 自我测试题 | 132 |
| 习题 | 133 |
| 实验与实训 | 136 |
| 第 5 章 时序逻辑电路 | 138 |
| 5.1 时序逻辑电路的特点和分类 | 138 |
| 5.1.1 时序逻辑电路的特点 | 138 |
| 5.1.2 时序逻辑电路功能表示方法 | 139 |
| 5.1.3 时序逻辑电路分类 | 139 |
| 5.2 时序逻辑电路的分析和设计 | 140 |
| 5.2.1 时序逻辑电路的分析 | 140 |
| 5.2.2 时序逻辑电路的设计 | 144 |
| 5.3 计数器 | 146 |
| 5.3.1 计数器的特点和分类 | 147 |
| 5.3.2 二进制计数器 | 147 |
| 5.3.3 十进制计数器 | 152 |
| 5.3.4 N 进制计数器 | 157 |
| 5.4 寄存器 | 161 |
| 5.4.1 寄存器的主要特点和分类 | 161 |
| 5.4.2 基本寄存器 | 162 |
| 5.4.3 移位寄存器 | 163 |
| 5.4.4 移位寄存器型 N 进制计数器 | 165 |
| 5.4.5 顺序脉冲发生器 | 167 |
| 5.5 故障诊断和排查 | 171 |
| 5.5.1 集成计数器故障排查技术 | 171 |
| 5.5.2 级联的计数器故障排查技术 | 172 |
| 5.5.3 触发器构成的计数器故障排查技术 | 172 |
| 本章小结 | 173 |
| 本章关键术语 | 173 |
| 自我测试题 | 174 |
| 习题 | 175 |
| 实验与实训 | 178 |
| 第 6 章 脉冲发生与整形电路 | 181 |
| 6.1 脉冲信号基本参数 | 181 |
| 6.2 集成定时器 | 182 |
| 6.2.1 555 定时器 | 182 |
| 6.2.2 脉冲产生整形电路 | 183 |
| 6.3 多谐振荡器 | 184 |
| 6.3.1 用 555 定时器构成的多谐振荡器 | 184 |
| 6.3.2 石英晶体多谐振荡器 | 186 |
| 6.3.3 多谐振荡器应用举例 | 187 |

| | | |
|--------------|-----------------------|------------|
| 6.4 | 施密特触发器 | 188 |
| 6.4.1 | 用 555 定时器构成的施密特触发器 | 189 |
| 6.4.2 | 集成施密特触发器 | 190 |
| 6.4.3 | 施密特触发器应用举例 | 191 |
| 6.5 | 单稳态触发器 | 192 |
| 6.5.1 | 用 555 定时器构成的单稳态触发器 | 192 |
| 6.5.2 | 集成单稳态触发器 | 194 |
| 6.5.3 | 单稳态触发器应用举例 | 194 |
| 6.6 | 故障诊断和排查 | 195 |
| 6.6.1 | 定时器的故障分析 | 195 |
| 6.6.2 | 脉冲发生电路的故障分析 | 196 |
| | 本章小结 | 196 |
| | 本章关键术语 | 196 |
| | 自我测试题 | 196 |
| | 习题 | 197 |
| | 实验与实训 | 199 |
| 第 7 章 | 数模和模数转换器 | 201 |
| 7.1 | 数字系统的构成 | 201 |
| 7.2 | 数模转换器 | 202 |
| 7.2.1 | 数模转换器的工作原理 | 202 |
| 7.2.2 | 权电阻数模转换器 | 202 |
| 7.2.3 | T 型电阻网络数模转换器 | 203 |
| 7.2.4 | 集成数模转换器 | 204 |
| 7.2.5 | 数模转换器的主要参数 | 207 |
| 7.3 | 模数转换器 | 207 |
| 7.3.1 | 采样保持和量化编码 | 208 |
| 7.3.2 | 双积分型模数转换器 | 209 |
| 7.3.3 | 逐次逼近型模数转换器 | 211 |
| 7.3.4 | 并联比较型模数转换器 | 212 |
| 7.3.5 | 集成模数转换器 | 214 |
| 7.3.6 | 模数转换器的主要参数 | 215 |
| | 本章小结 | 215 |
| | 本章关键术语 | 216 |
| | 自我测试题 | 216 |
| | 习题 | 217 |
| | 实验与实训 | 218 |
| 第 8 章 | 半导体存储器和可编程逻辑器件 | 220 |
| 8.1 | 半导体存储器 | 220 |
| 8.1.1 | 基本概念 | 220 |
| 8.1.2 | 半导体存储器分类 | 221 |

| | | |
|--------------------------|---------------|------------|
| 8.2 | 只读存储器 (ROM) | 221 |
| 8.2.1 | 只读存储器的结构和分类 | 221 |
| 8.2.2 | 只读存储器的应用 | 224 |
| 8.3 | 随机存取存储器 (RAM) | 225 |
| 8.3.1 | 随机存取存储器结构与分类 | 225 |
| 8.3.2 | 存储器容量的扩展 | 227 |
| 8.4 | 可编程逻辑器件 (PLD) | 228 |
| 8.4.1 | PLD 器件的分类 | 229 |
| 8.4.2 | PLD 电路的基本结构 | 229 |
| 8.4.3 | 可编程组合逻辑器件 | 230 |
| 8.4.4 | PLD 的设计流程 | 232 |
| | 本章小结 | 233 |
| | 本章关键术语 | 233 |
| | 自我测试题 | 234 |
| | 习题 | 234 |
| | 实验与实训 | 235 |
| 附录 Multisim 10 简介 | | 238 |
| 部分习题参考答案 | | 245 |
| 参考文献 | | 249 |

第 1 章

逻辑代数基础



学习目标

- **要掌握：**数字信号中，1 和 0 代表的广泛含义；4 种数制中，基数、权值、进位关系和不同数制之间的转换；BCD 码的格式和使用；逻辑代数的基本定律与运算规则；逻辑函数常用的表示方法。
- **会写出：**逻辑与、或、非、与非、或非、与或非、异或、同或等的逻辑表达式、真值表、逻辑符号及逻辑规律；逻辑函数表达式、真值表及逻辑图三者之间的转换。
- **会使用：**逻辑代数化简逻辑函数式；最小项及其标准表达式；卡诺图化简逻辑函数式。

本章主要介绍数制与码制、逻辑代数的基本定律、逻辑函数的表示方法和逻辑函数的化简方法等。

数制是多位数码中每一位的构成方法以及从低位到高位进位的规则，包括十进制、二进制、八进制和十六进制等。应熟练掌握数制间的相互转换。码制是为了便于记忆和处理，在编制代码时要遵循的规则。应掌握常用的 BCD 码。

与、或、非既是 3 种基本逻辑关系，也是 3 种基本逻辑运算。与非、或非、与或非、异或和同或是由 3 种基本逻辑运算复合而成的 5 种常用逻辑运算。本书给出了表示这些运算的逻辑符号，要注意理解和记忆。

逻辑代数的基本定律与常用公式是推演、变换和化简逻辑函数的依据，有些与普通代数相同，有些则完全不一样，例如摩根定理、重叠律、非非律等。要特别注意记住这些特殊的公式。

逻辑函数常用的表示方法有 5 种：逻辑函数表达式、真值表、逻辑图、卡诺图和波形图。它们各有特点，但本质相通，可以互相转换。尤其是由真值表到逻辑图和由逻辑图到真值表的转换，直接涉及数字电路的分析设计与综合问题，更加重要，一定要掌握。

逻辑函数公式化简法和卡诺图化简法是应该熟练掌握的内容。公式化简法没有什么局限性，但也无一定步骤可以遵循，要想迅速得到函数的最简与或表达式，不仅和对公式、定律的熟悉程度有关，而且和运算技巧有联系。卡诺图化简法则不同，它简单、直观，有可以遵循的明确步骤，不易出错，初学者也易于掌握。但是，当函数变量多于 5 个时，卡诺图化简法就失去优势，没有实用价值了。

1.1 模拟信号和数字信号

在自然界中有各种物理量，尽管它们的性质各异，但就其变化规律的特点而言，不外乎有两大类。其中一类物理量的变化在时间上和数值上都是连续的，这一类物理量称为模拟量，这种模拟量的信号叫做模拟信号，如电视的图像和伴音信号、生产过程中由传感器检测的由某种物理量（如温度、压力）转化成的电信号等。传输、处理模拟信号的电路称为模拟

电路。另一类物理量的变化在时间和数值上都是离散的，这一类物理量称为数字量，这种数字量的信号叫做数字信号，如电子表的秒信号、生产中自动记录零件个数的计数信号、由计算机键盘输入计算机的信号等，它们的变化发生在一系列离散的瞬间，数值大小的增减总是最小数量单位的整数倍。传输、处理数字信号的电路称为数字电路。

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。比如，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、通风设备以及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，也可以自动地进行仓储管理；在医疗仪器方面，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 2 种电平：高电平和低电平（+5V 和 0V），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。

1.1.1 模拟信号和数字信号

电子技术中的工作信号分为模拟信号和数字信号两大类。

1. 模拟信号

模拟信号（模拟量）是指时间上和数值上（幅度上）都是连续变化的信号。传输、处理模拟信号的电路称为模拟电路。模拟信号如电视的图像和伴音信号，生产过程中由传感器检测的由某种物理量（如温度、压力）转化成的电信号等。图 1.1 所示为某一天的温度变化曲线。

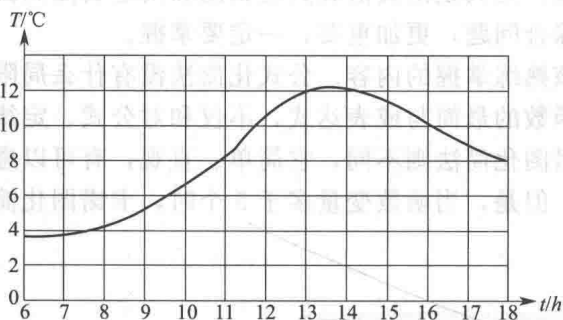


图 1.1 某一天温度变化曲线

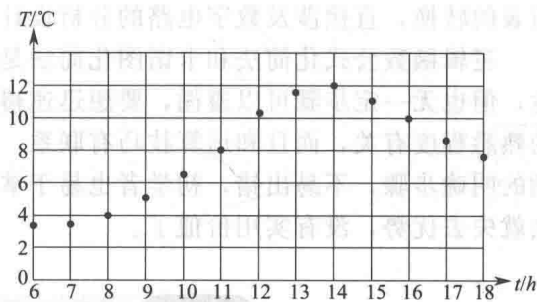


图 1.2 对图 1.1 中模拟量采样（采样间隔为 1h）

2. 数字信号

数字信号（数字量）是指时间和数值上（幅度上）都是断续变化的离散信号（均为离散取值的物理量）。把传输、处理数字信号的电路称为数字电路。数字信号如电子表的秒信号、生产中自动记录零件个数的计数信号、由计算机键盘输入计算机的信号等，它们的变化发生

在一系列离散的瞬间，数值大小的增减总是最小数量单位的整数倍。如图 1.1 所示的温度变化曲线，不考虑温度变化的连续性，只考虑时间轴上整点的温度，这实际上是对温度曲线的特定点处进行采样，如图 1.2 所示。但应注意的是，它还不是数字信号，只有将各采样值用数字代码表示后才成为数字信号。

数字信号可能是二值、三值或多值信号。但目前数字电路中只涉及二值信号，即用“0”、“1”表示的数字信号，如图 1.3 所示。这里的“0”和“1”没有大小之分，只表示逻辑关系，即逻辑“0”和逻辑“1”，因而称为二值数字逻辑，或简称数字逻辑。



图 1.3 用逻辑 0 和 1 表示的数字信号波形

图 1.3 所示的数字波形是逻辑电平随时间变化的曲线。当电压值在高电平和低电平之间变化时，就产生了数字波形。数字波形由数字脉冲序列组成。

1.1.2 模拟量的数字表示

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，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，开关电平可以写成“0”和“1”。

例如，模拟温度计记录的 37°C 在数字电路中可以用一系列开关电平来表示（后面将介绍，数字 37°C 可以转化为数字电平 00100101），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录制。CD 和 DVD 的应用十分普及，证明是录制和回放音乐的极佳方式。乐器和人类发出的声音都是模拟信号，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多次采样，将模拟信号转换为数字信号。这种采样过程贯穿于音乐录制的全过程。音乐回放是上述过程的逆过程，即将数字信号转换为模拟信号，重现原始模拟信号。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。

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很容易被人耳察觉。

提示

CD 音频设备是一种十分常用的模数转换和数模转换实例。CD 播放器利用激光束来识别旋转 CD 光盘上的凹槽，它是由 CD 刻录机刻录在 CD 光盘上的，表示原始音乐信号的“1”和“0”数字信息。一张 CD 光盘包括 650MB “1”、“0”数字量（ $1\text{B}=8\text{b}$ ）。另一种光

介质存储器是DVD，DVD的存储密度较CD大得多，可以容纳17GB（ $1\text{G}=10^9$ ）数据。

1.1.3 数字电路的特点和分类

数字电路的工作信号一般都是数字信号。在电路中，它往往表现为突变的电压或电流，并且只有两个可能的状态。所以，数字电路中的半导体器件应工作在开关状态。利用器件导通和截止两种不同的工作状态，代表不同的数字信息，完成信号的传递和处理任务。

通常用0和1组成的二值量表示数字信号最为简单，故常用的数字信号是用电压的高、低，脉冲的有、无，分别代表两个离散数值1和0。所以，数字电路在结构、工作状态、研究内容和分析方法等方面具有自己的特点。

① 数字电路中，半导体器件工作在开关状态，这和二值量或二进制信号的要求是相对应的，分别用1和0两个数码来表示。

② 数字电路的基本单元电路比较简单，对元件的精度要求不高，便于电路集成化、系列化生产，并具有可靠性高、抗干扰能力强、保密性好、价格低廉和使用方便等优点。

③ 数字电路能够对数字信号进行各种逻辑运算和算术运算，所以在数控装置、智能仪表以及计算机等领域应用广泛。

数字电路按组成的结构，分为分立元件电路和集成电路两大类。其中，集成电路按集成度分为小规模（SSI集成度为1~10门/片）、中规模（MSI集成度为10~100门/片）、大规模（LSI集成度为100~1000门/片）和超大规模（VLSI集成度为大于1000门/片）集成电路。按电路所用器件的不同，分为双极型和单极型电路。其中，双极型电路有DTL、TTL、ECL、IIL、HTL等多种，单极型电路有JFET、NMOS、PMOS、CMOS等4种。按电路逻辑功能的不同特点，分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。



思考题

1. 列举3个模拟量。
2. 为什么计算机系统处理的量是数字量，而不是模拟量？

1.2 数制和码制

1.2.1 数制

用数字量表示物理量的大小时，仅用1位数码往往不够，经常需要用进位计数的方法组成多位数码使用。我们把多位数码中每一位的构成方法以及从低位到高位进位的规则称为数制。

在数字电路中经常使用的计数进制除了十进制以外，还有二进制、八进制和十六进制。

1. 十进制

十进制是我们最熟悉的进位计数制。它将0、1、2、3、4、5、6、7、8、9十个数字符号按照一定的规律排列起来，表示数值的大小。例如：

$$1779 = 1 \times 10^3 + 7 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 9 \times 10^0$$

从这个4位十进制数，不难发现十进制数的特点，如下所述。

- (1) 每一位数必然是10个数字符号中的一个。所以，它计数的基数为10。

(2) 同一个数字符号在不同的数位代表的数值不同。这个4位数的位值依次为1000、100、10、1。位值又称权值或位权，它是10的幂。

(3) 低位数和相邻的高位数之间的进位关系是“逢十进一”。

有了基数和位权的概念，对于任一个十进制数 N ，按其位权值展开，表示为

$$\begin{aligned}(N)_{10} &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + \\ &\quad a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} a_i \times 10^i\end{aligned}\quad (1.1)$$

式(1.1)中， a_i 为0~9中任一数码， n 和 m 为正整数， n 为整数部分的位数， m 为小数部分的位数。那么，对于任意进制数，下式成立：

$$(N)_R = \sum_{i=n-1}^{-m} r_i \times R^i \quad (1.2)$$

式(1.2)中， r_i 为任意进制中第 i 位的数码，可以是0~ $R-1$ 中的任一个； n 和 m 为正整数， n 为整数部分的位数， m 为小数部分的位数； R 为进位基数， R^i 为第 i 位的权值。

本书常用的进位计数制是十进制 (Decimal)、二进制 (Binary)、八进制 (Octaic) 和十六进制 (Hexadecimal)。因此，当基数 R 为10时，表示十进制数可用 $(N)_{10}$ 或 $(N)_D$ 表示。同样地，二进制数、八进制数和十六进制数可分别用 $(N)_2$ 、 $(N)_8$ 和 $(N)_{16}$ 或 $(N)_B$ 、 $(N)_O$ 或 $(N)_H$ 表示。

2. 二进制

二进制是在数字电路中应用最广的计数体制。这意味着，一个二进制位（即比特，bit）的值取决于该位在二进制数中的位置。这种加权计数系统与十进制计数系统类似。8个比特组成的一组数称为一个字节（byte）。二进制数中只有0和1两个数字符号，所以计数的基数为2。各位数的权值是2的幂，低位和相邻高位之间的进位关系是“逢二进一”。因此，任意一个二进制数 $(N)_2$ 可以表示为

$$\begin{aligned}(N)_2 &= b_{n-1} \times 2^{n-1} + b_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + b_1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0 + b_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + b_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} b_i \times 2^i\end{aligned}\quad (1.3)$$

式(1.3)中， b_i 只能取0或者1两个数码， 2^i 为第 i 位的权值。例如：

$$(1101.101)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$



归纳

二进制数的运算规则

加法：0+0=0，0+1=1+0=1，1+1=10；乘法：0×0=0，0×1=1×0=0，1×1=1。

【例1.1】 一个8位（一个字节）二进制整数为 $(N)_2 = (10011110)_2$ ，求其对应的十进制数值。

解：将二进制数按权展开，求各位数值之和，可得

$$(N)_2 = (10011110)_2 = (1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0)_{10} = (158)_{10}$$

3. 八进制

二进制数虽在计算机中易于实现，然而它最大的缺点是不便读写，与十进制数相比，表示同一个数时，二进制用的位数较多。为此，在数字系统中，又常使用八进制数和十六进

制数。

计数基数 $R=8$ 时,称为八进制。它有 $0\sim 7$ 八个数字符号,各位数的权值是 8 的幂,低位和相邻高位之间的关系是“逢八进一”。因此,任意一个八进制数 $(N)_8$ 可以表示为

$$\begin{aligned}(N)_8 &= q_{n-1} \times 8^{n-1} + q_{n-2} \times 8^{n-2} + \cdots + q_1 \times 8^1 + q_0 \times 8^0 + q_{-1} \times 8^{-1} + \cdots + q_{-m} \times 8^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} q_i \times 8^i\end{aligned}\quad (1.4)$$

式中, q_i 只能取 $0\sim 7$ 中的某一数码。例如,

$$(325.7)_8 = 3 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 7 \times 8^{-1}$$

【例 1.2】 求 3 位八进制数 $(N)_8 = (236)_8$ 对应的十进制数。

解: 按权展开,求各位数值之和,可得

$$(236)_8 = (2 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 6 \times 8^0)_{10} = (128 + 24 + 6)_{10} = (158)_{10}$$

4. 十六进制

在十六进制中,计数基数为 16,有 16 个不同的数字符号: $0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F$ 。这里,十进制数 $10\sim 15$ 分别用 $A\sim F$ 6 个英文字母表示。低位和相邻高位间的关系是“逢十六进一”。因此,任意一个十六进制数 $(N)_{16}$ 可表示为

$$\begin{aligned}(N)_{16} &= h_{n-1} \times 16^{n-1} + h_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + h_1 \times 16^1 + \\ &\quad h_0 \times 16^0 + h_{-1} \times 16^{-1} + \cdots + h_{-m} \times 16^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} h_i \times 16^i\end{aligned}\quad (1.5)$$

式中, h_i 只能取 $0\sim F$ 中的某一个数码。例如,

$$(3A.9E)_{16} = 3 \times 16^1 + A \times 16^0 + 9 \times 16^{-1} + E \times 16^{-2}$$

【例 1.3】 求 2 位十六进制数 $(N)_{16} = (9E)_{16}$ 对应的十进制数。

解: 按权展开,求各位数值之和,可得

$$(9E)_{16} = (9 \times 16 + 14 \times 16^0)_{10} = (158)_{10}$$

提示

八进制数和十六进制数转换成十进制数时,先将其转换成二进制数,再转换成十进制数较为容易。

对于同一个十进制数,当分别由二进制、八进制、十六进制表示时,八进制、十六进制要比二进制简单得多,而二进制数转换成八进制数和十六进制数十分方便。因此,书写计算机程序时,广泛使用八进制和十六进制。

表 1.1 列出了几种常用计数进制对照表。

表 1.1 几种常用计数进制对照表

| 十进制 | 二进制 | 八进制 | 十六进制 |
|-----|------|-----|------|
| 0 | 0000 | 0 | 0 |
| 1 | 0001 | 1 | 1 |
| 2 | 0010 | 2 | 2 |

续表

| 十进制 | 二进制 | 八进制 | 十六进制 |
|-----|------|-----|------|
| 3 | 0011 | 3 | 3 |
| 4 | 0100 | 4 | 4 |
| 5 | 0101 | 5 | 5 |
| 6 | 0110 | 6 | 6 |
| 7 | 0111 | 7 | 7 |
| 8 | 1000 | 10 | 8 |
| 9 | 1001 | 11 | 9 |
| 10 | 1010 | 12 | A |
| 11 | 1011 | 13 | B |
| 12 | 1100 | 14 | C |
| 13 | 1101 | 15 | D |
| 14 | 1110 | 16 | E |
| 15 | 1111 | 17 | F |



归纳

表 1.1 中所列的几种数制各有优缺点, 应用场合也不相同。十进制数虽然是人们在生活中最常用、最习惯的一种进位制数, 但其 10 个数码在数字电路中难以找到 10 个状态与之对应。二进制只有 0 和 1 两个数码, 可用来表示电路的两种工作状态。所以, 在数字电路中采用二进制。当二进制数的位数较多而不易读写时, 常采用八进制和十六进制。

5. 数制转换

数制之间的转换归为两类: 十进制数和非十进制数之间的转换; 2^n 进制数之间的转换。

1) 非十进制数转换成十进制数

由二进制、八进制、十六进制数的一般表达式可知, 只要将它们按权展开, 求各位数值之和, 即可得到对应的十进制数。

【例 1.4】 将非十进制数 $(1011.011)_2$ 、 $(27.46)_8$ 、 $(C2)_{16}$ 转换成十进制数。

解: 按权展开, 求各位数值之和。

$$\begin{aligned}(1011.011)_2 &= (1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3})_{10} \\ &= (8 + 2 + 1 + 0.25 + 0.125)_{10} = (11.375)_{10}\end{aligned}$$

$$(27.46)_8 = (2 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} + 6 \times 8^{-2})_{10} = (16 + 7 + 0.5 + 0.09375)_{10} = (23.59375)_{10}$$

$$(C2)_{16} = (12 \times 16^1 + 2 \times 16^0)_{10} = (194)_{10}$$

2) 十进制数转换成非十进制数

十进制数转换成非十进制数时, 要将其整数部分和小数部分分别转换, 结果合并为目的数制形式。

① 整数部分的转换。整数部分的转换采用基数除法。所谓基数除法, 即用目的数制的基数去除十进制整数, 第一次除所得的余数为目的数的最低位, 把得到的商再除以该基数, 所得余数为目的数的次低位, 依次类推, 直至商为 0 时, 所得余数为目的数的最高位。此法也叫除基取余法。

② 小数部分的转换。小数部分的转换是采用基数乘法实现的。所谓基数乘法, 即用该小数乘目的数制的基数, 第一次乘得结果的整数部分为目的数的最高位 (当然是小数部分的最高位), 其小数部分再乘基数, 所得结果的整数部分作为目的数的第二位, 依次类推, 直至小数部分为 0 或达到要求精度为止。此法也叫乘基取整法。