

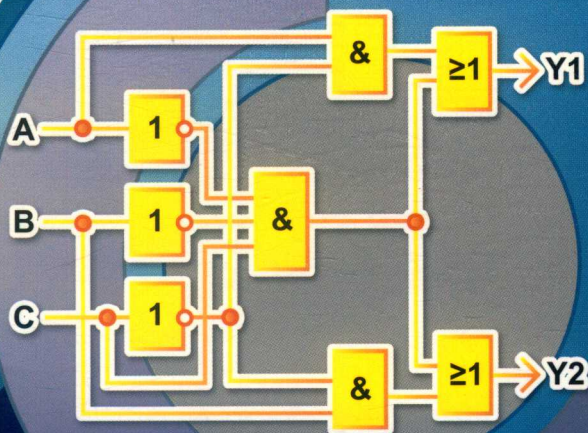
▶ 电子爱好者必读开悟书

# 从零开始 学数字电路

- ▶ 一本专门为数字电路初学者“量身定做”的“傻瓜型”教材
- ▶ 数字电路基础、逻辑电路、振荡电路、555时基电路等全面介绍
- ▶ 在家用电器、报警和密码锁、仪器仪表等电路中的14种应用实例
- ▶ Edison和Multisim仿真软件的介绍和使用，并对重点内容进行实验和验证

刘建清◎主编

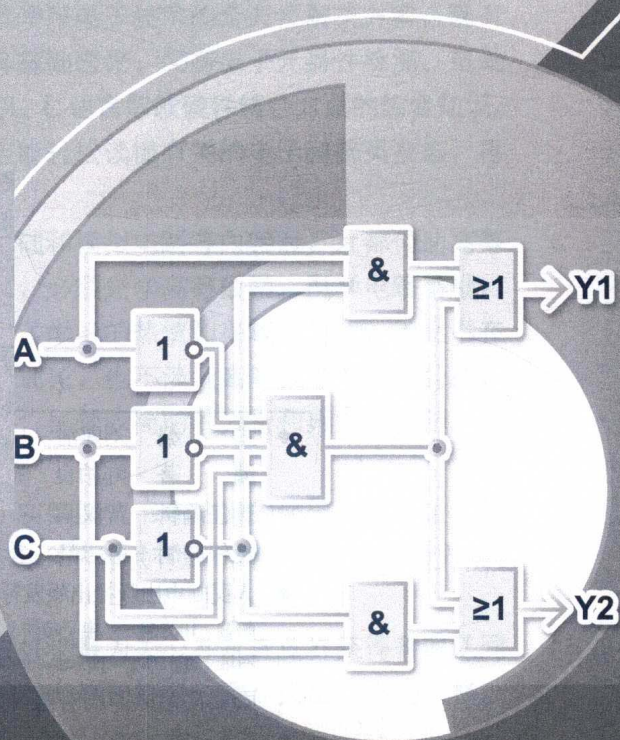
陶柏良 范军龙◎编著





# 从零开始 学数字电路

刘建清 ◎ 主编  
陶柏良 范军龙 ◎ 编著



人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

从零开始学数字电路 / 刘建清主编 ; 陶柏良, 范军龙编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2019.5  
ISBN 978-7-115-51026-6

I. ①从… II. ①刘… ②陶… ③范… III. ①数字电路 IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第060495号

## 内 容 提 要

这是一本专门为数字电路初学者“量身定做”的“傻瓜型”教材。本书采用新颖的讲解形式,深入浅出地介绍了数字电路相关知识,主要包括数字电路基础、逻辑门、组合逻辑电路、时序逻辑电路、多谐振荡电路、单稳态触发器、555 时基电路、单片机及外围电路、可编程逻辑器件 PLD、数字电路应用实例等。最后,结合仿真软件,对书中的重点内容进行了实验和验证。

全书语言通俗,重点突出,图文结合,简单明了,具有较强的针对性和实用性,适合电子初学者、无线电爱好者阅读,也可作为中等职业学校、中等技术学校相关专业的培训教材使用。

- 
- ◆ 主 编 刘建清  
编 著 陶柏良 范军龙  
责任编辑 黄汉兵  
责任印制 彭志环
  - ◆ 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>  
固安县铭成印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 12.25 2019 年 5 月第 1 版  
字数: 291 千字 2019 年 5 月河北第 1 次印刷
- 

定价: 49.00 元

读者服务热线: (010)81055493 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315



我们所处的时代是一个知识爆发的时代，新产品、新技术层出不穷，电子技术发展更是日新月异。当你对妙趣横生的电子世界发生兴趣时，首先会想到的是找一套适合自己学习的电子方面的图书阅读，“从零开始学电子”丛书正是为了满足零起点入门的电子爱好者而写的，全套丛书共有如下6册。

从零开始学电工电路

从零开始学电动机、变频器和 PLC

从零开始学电子元器件识别与检测

从零开始学模拟电路

从零开始学数字电路

从零开始学 51 单片机 C 语言

和其他电子技术类图书相比，本丛书具有以下特点。

**内容全面，体系完备。**本丛书给出了电子爱好者学习电子技术的全方位解决方案，既有初学者必须掌握的电工电路、模拟电路、数字电路等基础理论，又有电子元器件检测、电动机等操作性较强的内容，还有变频器、PLC、51 单片机、C 语言等软硬件结合方面的综合知识。内容翔实，覆盖面广。掌握好本系列内容，读者不但能轻松读懂有关的电子科普类杂志，再稍加实践，还能成为本行业的行家里手。

**通俗易懂，重点突出。**传统的图书在介绍电路基础和模拟电路等内容时，大都借助高等数学这一工具进行分析，电子爱好者自学电子技术时，必须先学高等数学，再学电路基础，门槛很高，大多数电子爱好者因此被拒之门外，失去了学习的热情和兴趣。为此，本丛书在编写时，完全考虑到了初学者的需要，既不讲难懂的理论，也不涉及高等数学方面的公式，尽可能地把复杂的理论通俗化，将烦琐的公式简易化，再辅以简明的分析和典型的实例。这构成了本丛书的一大亮点。

**实例典型，实践性强。**本丛书最大限度地强调了实践性，书中给出的例子大都经过了验证，可以实现，并且具有代表性。本丛书中的单片机实例均提供有源程序，并给出实验方法，以方便读者学习和使用。

**内容新颖，风格活泼。**丛书所介绍的都是电子爱好者最为关心并且在业界获得普遍认同的内容。丛书的每一本都各有侧重，又互相补充，论述时疏密结合，重点突出，不拘一格。对于重点、难点和容易混淆的知识，书中还用专用标识进行了标注和提示。

**把握新知，结合实际。**电子技术发展日新月异，为适应时代的发展，丛书还对电子技术的新知识做了详细的介绍；丛书中涉及的应用实例都是作者开发经验的提炼和总结，相信一定会给读者带来很大的帮助。在讲述电路基础、模拟和数字电子技术时，还专门安排了软件仿真实验，实验过程非常接近实际操作的效果。仿真软件不但提供了各种丰富的分立元件、集成电路等元器件，还提供了各种丰富的调试测量工具：各种电压表、电流表、示波器、指

示器、分析仪等。仿真软件是一个全开放性的仿真实验平台，给读者提供了一个完备的综合性实验室，可以在任意组合的实验环境中搭建实验。电子爱好者通过实验，将学习变得生动有趣，加深对电路理论知识的认识，一步一步地走向电子制作和电路设计的殿堂。

总之，对于需要学习电子技术的电子爱好者而言，“从零开始学电子”丛书不失为一个良好的选择。该丛书一定能给你耳目一新的感觉。当你认真阅读完本丛书后会发现，无论是你所读的书，还是读完书的你，都有所不同。

随着微电子技术的飞跃发展，我们已经进入了一个以数字化为特征的信息时代。电子计算机、数字化通信产品、数字化音响、数字化电视以及其他形形色色的数字化产品进入了我们的日常生活之中。因此，掌握数字电路的基础知识、了解数字集成电路的应用，是十分必要的，本书正是为适应这种需要而编写的。

本书编写的宗旨是不讲过深的理论知识，力求做到理论和应用相结合，循序渐进、由浅入深、通俗实用，以指导初学者快速入门、逐步提高、逐渐精通。

本书主要包括数字电路基础、逻辑门、组合逻辑电路、时序逻辑电路、多谐振荡电路、单稳态触发器、555 时基电路、单片机及外围电路、可编程逻辑器件 PLD、数字电路应用实例。最后，结合仿真软件，对书中的重点内容进行了实验和验证。

本书具有较强的针对性和实用性，内容新颖、资料翔实、通俗易懂。同时，为了让初学者使用更加方便，作者对书中所讲解的基本概念和电路均进行了认真的分类和总结。

参加本书编写工作的还有宗军宁、刘水潺、宗艳丽等同志。由于作者水平有限，疏漏之处在所难免，诚恳希望各位同行、读者批评指正。

作者

2018 年 8 月



## 第1章 走进“0”和“1”的世界 .....1

- 1.1 从模拟到数字“0”和“1” .....1
  - 1.1.1 模拟信号和模拟电路 .....1
  - 1.1.2 数字信号与数字电路 .....2
  - 1.1.3 数字电路的分类 .....5
- 1.2 数制的转换、运算与编码 .....6
  - 1.2.1 常用数制 .....6
  - 1.2.2 数制的转换 .....7
  - 1.2.3 二进制的算术运算 .....10
  - 1.2.4 编码 .....11
  - 1.2.5 二进制码的传输与存取 .....13
- 1.3 逻辑代数简介 .....15
  - 1.3.1 逻辑代数基本概念 .....15
  - 1.3.2 三种基本逻辑运算 .....16
  - 1.3.3 复合逻辑运算 .....19

## 第2章 跨进逻辑门 .....22

- 2.1 门电路基本知识 .....22
  - 2.1.1 晶体管开关电路 .....22
  - 2.1.2 分立元件门电路 .....27
- 2.2 集成门电路介绍 .....30
  - 2.2.1 TTL系列集成电路的种类 .....30
  - 2.2.2 CMOS系列集成电路的种类 .....31
  - 2.2.3 典型逻辑集成门介绍 .....32
  - 2.2.4 数字集成电路的正确使用 .....37

## 第3章 一道又一道的门 .....40

- 3.1 编码器 .....40
  - 3.1.1 编码器基本知识 .....40
  - 3.1.2 实用编码集成电路 .....43
- 3.2 译码器 .....45

- 3.2.1 二进制-八进制译码器 .....45
- 3.2.2 二-十进制译码器 .....47
- 3.2.3 二进制-十六进制译码器 .....49
- 3.2.4 显示译码器 .....50
- 3.3 数据选择器、分配器和模拟开关 .....53
  - 3.3.1 数据选择器 .....53
  - 3.3.2 数据分配器 .....54
  - 3.3.3 模拟开关 .....54

## 第4章 谈谈触发器、寄存器和计数器 .....57

- 4.1 双稳态触发器 .....57
  - 4.1.1 双稳态触发器的特点和分类 .....57
  - 4.1.2 基本RS触发器 .....58
  - 4.1.3 同步RS触发器 .....59
  - 4.1.4 同步D触发器 .....60
  - 4.1.5 主从JK触发器 .....62
  - 4.1.6 边沿触发器 .....64
  - 4.1.7 T型和T'型触发器 .....67
- 4.2 寄存器 .....68
  - 4.2.1 寄存器的特点和分类 .....68
  - 4.2.2 基本寄存器 .....68
  - 4.2.3 移位寄存器 .....70
- 4.3 计数器 .....72
  - 4.3.1 计数器的分类 .....72
  - 4.3.2 集成二进制计数器 .....74
  - 4.3.3 集成十进制计数器 .....75

## 第5章 数字电路的“四个助手” .....76

- 5.1 多谐振荡器 .....76

|       |                   |    |
|-------|-------------------|----|
| 5.1.1 | 由分立元件组成的多谐振荡器     | 76 |
| 5.1.2 | 由 RC 和门电路组成的多谐振荡器 | 77 |
| 5.1.3 | 由石英晶体和门电路组成的多谐振荡器 | 78 |
| 5.2   | 单稳态触发器            | 79 |
| 5.2.1 | 由分立元件组成的单稳态触发器    | 79 |
| 5.2.2 | 由门电路组成的单稳态电路      | 81 |
| 5.2.3 | 集成单稳态电路           | 82 |
| 5.3   | 施密特触发器            | 84 |
| 5.3.1 | 集成施密特触发器          | 85 |
| 5.3.2 | 施密特触发器的应用         | 86 |
| 5.4   | 555 定时器           | 88 |
| 5.4.1 | 555 定时器工作原理       | 88 |
| 5.4.2 | 双定时器 556          | 90 |
| 5.4.3 | 555 定时器的应用        | 90 |
| 5.4.4 | 555 时基电路设计软件介绍    | 93 |

## 第 6 章 为单片机做准备 94

|       |                |     |
|-------|----------------|-----|
| 6.1   | 了解单片机          | 94  |
| 6.1.1 | 什么是单片机         | 94  |
| 6.1.2 | 单片机的分类         | 95  |
| 6.1.3 | 51 单片机家族主要成员介绍 | 96  |
| 6.1.4 | 51 单片机的内部结构    | 97  |
| 6.1.5 | 51 单片机的引脚      | 99  |
| 6.1.6 | 单片机的最小系统电路     | 100 |
| 6.2   | 单片机的存储器        | 102 |
| 6.2.1 | 存储器概述          | 102 |
| 6.2.2 | 程序存储器          | 103 |
| 6.2.3 | 数据存储器          | 111 |
| 6.3   | DAC 和 ADC 转换电路 | 112 |
| 6.3.1 | DAC (D/A) 转换器  | 112 |
| 6.3.2 | ADC (A/D) 转换器  | 113 |
| 6.4   | 数字语音电路         | 118 |

|       |             |     |
|-------|-------------|-----|
| 6.4.1 | 数字语音电路基础知识  | 118 |
| 6.4.2 | 常见语音集成电路介绍  | 120 |
| 6.5   | 数字遥控电路      | 130 |
| 6.5.1 | 遥控电路的种类     | 130 |
| 6.5.2 | 遥控专用编码和解码电路 | 131 |

## 第 7 章 数字电路的另一发展方向 139

|       |                   |     |
|-------|-------------------|-----|
| 7.1   | 可编程逻辑器件概述         | 139 |
| 7.1.1 | 可编程逻辑器件的发展        | 139 |
| 7.1.2 | CPLD/FPGA 的用途     | 141 |
| 7.1.3 | CPLD/FPGA 的特点     | 141 |
| 7.1.4 | CPLD 与 FPGA 的比较   | 142 |
| 7.1.5 | CPLD/FPGA 和单片机的比较 | 143 |
| 7.2   | 可编程逻辑器件的开发        | 143 |
| 7.2.1 | 可编程逻辑器件概述         | 143 |
| 7.2.2 | 可编程逻辑器件的设计过程      | 144 |
| 7.2.3 | 可编程逻辑器件设计举例       | 145 |

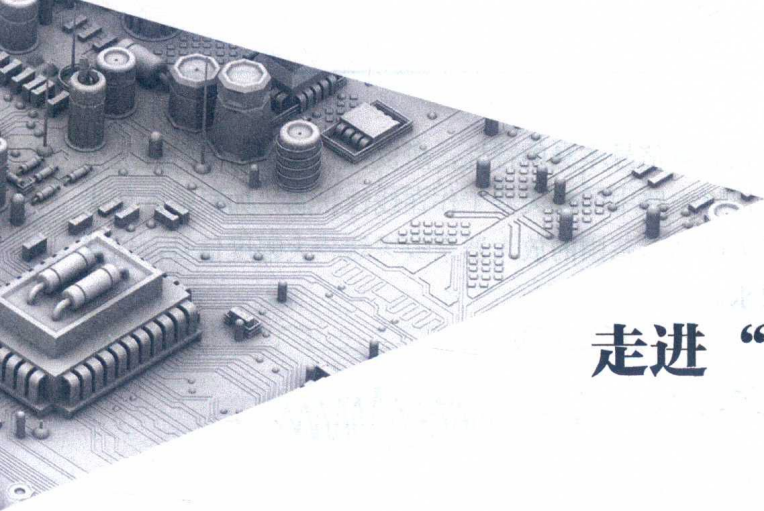
## 第 8 章 数字电路应用举例 148

|       |          |     |
|-------|----------|-----|
| 8.1   | 家用电器控制电路 | 148 |
| 8.1.1 | 灯光控制电路   | 148 |
| 8.1.2 | 电风扇控制电路  | 152 |
| 8.1.3 | 豆浆机控制电路  | 154 |
| 8.2   | 报警和密码锁电路 | 156 |
| 8.2.1 | 报警电路     | 156 |
| 8.2.2 | 密码锁电路    | 159 |
| 8.3   | 仪器仪表电路   | 160 |
| 8.3.1 | 摩托车速度表   | 160 |
| 8.3.2 | 逻辑电平测试电路 | 162 |
| 8.3.3 | 电容质量判别器  | 163 |
| 8.4   | 其他应用电路   | 164 |
| 8.4.1 | 简易电子琴    | 164 |
| 8.4.2 | 超声波驱虫器   | 164 |
| 8.4.3 | 汉语报时电路   | 165 |
| 8.4.4 | 叮咚门铃电路   | 166 |
| 8.4.5 | 8 路数显抢答器 | 167 |
| 8.4.6 | 电子声光门铃   | 168 |



|              |                 |     |
|--------------|-----------------|-----|
| <b>第 9 章</b> | <b>数字电路软件仿真</b> | 170 |
| 9.1          | Edison 仿真软件的使用  | 170 |
| 9.1.1        | Edison 简介       | 170 |
| 9.1.2        | Edison 的基本操作    | 171 |
| 9.1.3        | 电路图编辑器          | 173 |
| 9.1.4        | 三极管开关电路实验       | 173 |
| 9.1.5        | 逻辑门电路实验         | 175 |

|        |                  |     |
|--------|------------------|-----|
| 9.1.6  | 译码电路实验           | 175 |
| 9.1.7  | 触发器电路实验          | 177 |
| 9.1.8  | 计数器实验            | 179 |
| 9.1.9  | 多谐振荡器实验          | 180 |
| 9.1.10 | 555 电路实验         | 182 |
| 9.2    | Multisim 仿真软件的使用 | 183 |



# 第 1 章

## 走进“0”和“1”的世界

数字电路包括数字信号的传送、控制、记忆、计数、产生和整形等内容，数字电路在结构、分析方法、功能、特点等方面均不同于模拟电路。数字电路的基本单元是逻辑门电路，分析工具是逻辑代数，在功能上则着重强调电路输入与输出间的因果关系。数字电路比较简单、抗干扰性强、精度高、便于集成，因而在无线电通信、自动控制系统、测量设备、电子计算机等领域获得了日益广泛的应用，本章主要讲述的内容是数字电路的一些基础知识。

### | 1.1 从模拟到数字“0”和“1” |

#### 1.1.1 模拟信号和模拟电路

##### 1. 模拟信号的概念

在自然界存在着许多物理量，它们在时间和数值上是连续的，这类物理量称为模拟量。用来表示模拟量的信号称为模拟信号，常见的正弦波、三角波、调幅波、阻尼振荡波等都是模拟信号，图 1-1 给出了几种常见的模拟信号，其中图 1-1 (a) 所示为正弦波，图 1-1 (b) 所示为三角波，图 1-1 (c) 所示为调幅波，图 1-1 (d) 所示为阻尼振荡波，图 1-1 (e) 所示为指数衰减波，由图 1-1 可见，虽然几种模拟信号的形状各不相同，但它们的共同特点是信号的幅值大小随时间作连续变化。

实际上，自然界的许多物理量均为模拟量。例如，速度、压力、温度、声音、重量、位置等。在工程上，为便于分析，常用传感器将模拟量转换为电流、电压等电学量。我们在这里所讲的模拟信号一般指模拟电信号。

模拟信号的基本参数包括幅度、频率、周期等。模拟信号按信号频率可分为低频信号、高频信号、微波信号等；按信号的周期性可分为周期性信号和非周期性信号等；按用途可分为工频信号、射频信号、视频信号等。

##### 2. 模拟电路

用以传递、加工和处理模拟信号的电路称为模拟电路。模拟电路必须满足以下要求。



(1) 由于模拟信号的幅度大小直接代表着信号本身的特性，所以在对模拟信号进行放大的过程中要进行线性放大，也就是要求模拟电路中的放大器工作在线性状态。如果输入放大器的信号动态范围较大，必须要有足够大的动态范围的放大器来放大这一大幅度信号，这就对模拟放大器提出了很高的电路硬件要求。

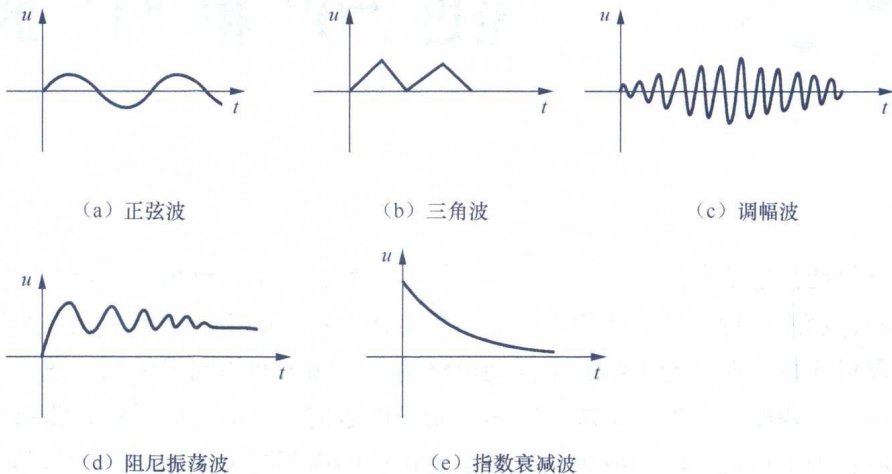


图1-1 模拟信号

(2) 电路中的干扰信号绝大多数是模拟信号，干扰信号与模拟信号有着相似的特性，这就使得模拟信号在放大、处理过程中更容易受它干扰，而且一旦受其干扰就很难再将它们分开。这就对模拟电路提出了很高的抗干扰技术要求，使模拟电路的制作难度增大，电路成本增加。

(3) 由于模拟信号的连续特性，在对这种信号进行比较复杂的处理时，就不能破坏模拟信号的特性，因此使得模拟电路变得十分复杂。

(4) 对不同的模拟信号进行不同目的的处理时，就必须有一套与之对应的模拟电路来配套，使得模拟电路变得庞大而复杂。所以，模拟电路不便对信号进行“深层次”的复杂处理。

### 1.1.2 数字信号与数字电路

#### 1. 数字信号的概念

在自然界存在许多物理量，它们在时间和数值上均是离散的，也就是说，它们的变化在时间上是不连续的，总是发生在一系列离散的瞬间，这类物理量称为数字量，用来表示数字量的信号称为数字信号。

数字信号通常用数字波形表示，数字波形是逻辑电平与时间的关系。当某波形仅有两个离散值时，可以称为脉冲波形。此时，数字波形与脉冲波形的关系是统一的，区别是表达方式不同，前者用逻辑电平表示，后者用电压值表示。数字信号分为周期性和非周期性两种，图 1-2 表示的是这两类数字波形，其中图 1-2 (a) 所示为周期性数字波形，图 1-2 (b) 所示为非周期性数字波形。

#### 2. 非理想数字波形

在实际的系统中，数字波形不能立即上升和下降，要经历一段时间，如图 1-3 所示。

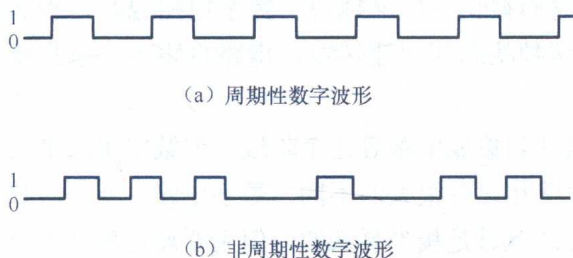


图1-2 周期性和非周期性数字波形

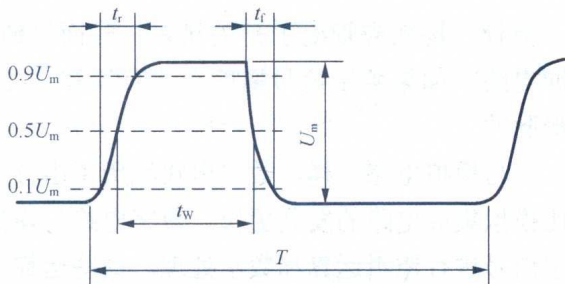


图1-3 非理想数字波形

对于非理想数字波形（矩形脉冲），常用以下指标来定量描述其特性。

脉冲周期  $T$ ——周期性重复的脉冲序列中，两个相邻脉冲间的时间间隔，有时也用频率  $f=1/T$  表示单位时间内脉冲重复的次数。

脉冲幅度  $U_m$ ——脉冲电压的最大变化幅度。

脉冲宽度  $t_w$ ——从脉冲前沿上升到  $0.5U_m$  处开始，到脉冲后沿下降到  $0.5U_m$  为止的一段时间。

上升时间  $t_r$ ——脉冲前沿从  $0.1U_m$  上升到  $0.9U_m$  所需要的时间。

下降时间  $t_f$ ——脉冲后沿从  $0.9U_m$  下降到  $0.1U_m$  所需要的时间。

数字信号上升时间和下降时间的典型值约为几纳秒，视不同类型的器件和电路而异。

占空比——脉冲宽度  $t_w$  占整个脉冲周期  $T$  的百分数，称为脉冲占空比，占空比一般用  $q$  表示，其表达式为：

$$q = \frac{t_w}{T} \times 100\%$$

利用这些指标，就可以把一个非理想数字波形的基本特性大体上表示清楚了，对于理想数字波形，其上升时间  $t_r$  和下降时间  $t_f$  则均为零。

### 3. 数字信号其实就是“0”和“1”

数字信号在时间和数值上均是离散的，可以用数字“0”和“1”表示，这里“0”和“1”不是十进制中的数字，而是逻辑0和逻辑1，因而称之为二值数字逻辑或简称为数字逻辑。

二值数字逻辑的产生，是基于客观世界的许多事物可以用彼此相关又互相对立的两种状态来描述。例如，是与非、真与假、开与关、低与高等。而且在电路上，可用电子器件的开关特性来实现，由此形成离散信号电压或数字电压。这些数字电压通常用逻辑电平来表示。应当注意，逻辑电平不是物理量，逻辑电平与电压值关系如表 1-1 所示。

表 1-1 逻辑电平与电压值的关系

| 电压  | 二值逻辑 | 电平     |
|-----|------|--------|
| +5V | 1    | H（高电平） |
| 0V  | 0    | L（低电平） |

### 4. 数字电路与模拟电路的比较

数字电路就是用于传递、加工和处理数字信号的电路，电路中的电子器件，如二极管、



三极管、场效应管处于开关状态，时而导通，时而截止。广义地说，数字电路也是一种脉冲电路，如果数字信号幅度在“有”和“无”两种状态间快速转换，电路将输出一系列矩形脉冲。

与模拟电路一样，数字电路经历了由分立器件到集成电路等几个阶段，但数字集成电路比模拟集成电路的发展更快。数字电路与模拟电路相比有很大的不同，数字电路主要是对数字信号进行逻辑运算和数字处理，这些运算和处理有时是相当复杂的，但主要通过软件来处理（进行各种逻辑处理和数字运算）。

数字电路具有以下一些特点。

（1）数字信号采用二值信息——“0”和“1”，即低电平和高电平，只有两种取值，所以数字电路在结构、工作状态、研究内容、分析方法等各方面都与模拟电路完全不同。

（2）数字电路中的晶体管只工作在饱和与截止两种状态（放大区只是过渡状态），即工作于“开关”状态。这些状态的外部表现是电流的有、无，电压的高、低，因此，有和无、高和低的两种对立状态可以与电路中的二值信息分别对应，这里的二值信息通常记为“1”和“0”。

（3）数字电路是由几种最基本的单元电路组成的，这些基本单元电路对元件的精度要求不高，允许有较大的误差范围。因为数字信号有“1”和“0”两种状态就可以了，因而组成数字电路的单元结构比较简单，具有便于集成化和系列化生产、工作准确可靠、成本低廉、使用方便等优点。

（4）对于数字电路，人们研究的主要问题是输入信号的状态（“0”或“1”）和输出信号的状态（“0”或“1”）之间的逻辑关系，以反映电路的逻辑功能。因而在数字电路中，就不能采用模拟电路的分析方法。数字电路的主要分析工具是真值表、逻辑表达式及波形图等。

（5）数字电路能够对数字信号进行各种逻辑运算和算术运算。所谓逻辑运算，就是按照逻辑规则进行逻辑推理和逻辑判断。正因为数字电路不仅具有运算能力，还具有逻辑思维与判断能力，人们才能制造出各种数控装置、智能仪表以及电子计算机等现代化的科技产品，并使它们得到十分广泛的应用。

数字电路与模拟电路的比较如表 1-2 所示。

表 1-2 模拟电路与数字电路的比较

| 内容     | 模拟电路        | 数字电路                     |
|--------|-------------|--------------------------|
| 工作信号   | 模拟信号        | 数字信号                     |
| 管子工作状态 | 放大          | 饱和导通或截止                  |
| 研究对象   | 放大性能        | 逻辑功能                     |
| 基本单元电路 | 放大器         | 逻辑门、触发器                  |
| 分析工具   | 图解法、微变等效电路法 | 真值表、卡诺图、逻辑表达式、状态转换图、布尔代数 |

5. 模拟信号的数字化

将时间上连续变化的模拟量变换为脉冲有无的数字量，这一操作过程就称为数字化。通俗地讲，数字化就是将模拟信号变换成数字信号。

图 1-4（a）为一个模拟信号用数字表示的示意图，图中 A、B、C 为模拟信号的 3 个取样点，其值分别用 8 位数字串表示。在 B 点处，模拟电压值为 3V，可用相应的数字串 0000 0011

来表示，这个数字串由模/数转换器得来，如图 1-4（b）所示。其余两个取样点 A 和 C 的电压值分别为 2V 和 4V，相应的数字串为 0000 0010 和 0000 0100。如果取样点足够多，那么模拟信号便可较真实地被复制下来，必要时也可用数/模转换器还原模拟信号。

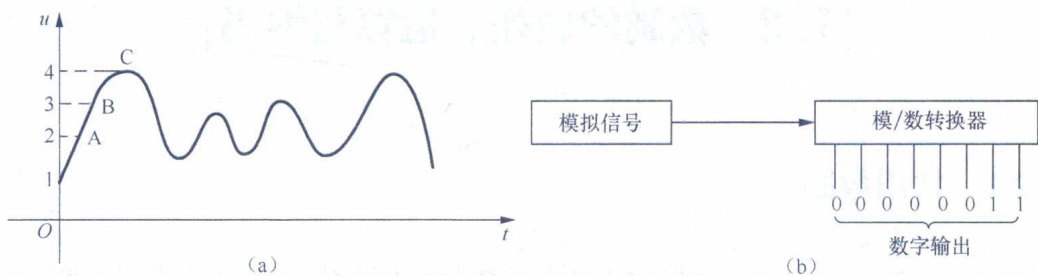


图1-4 模拟信号的数字表示法

1.1.3 数字电路的分类

数字电路可按以下几种方法进行分类。

1. 按电路类型分

数字电路按照电路类型可分为组合逻辑和时序逻辑电路两大类。

组合逻辑电路：输出只与当时的输入有关，如编码器、加减法器、比较器、数据选择器等。

时序逻辑电路：输出不仅与当时的输入有关，还与电路原来的状态有关，如触发器、计数器、寄存器等。

2. 按集成度分

数字电路按集成度来分，可分为小规模、中规模、大规模、超大规模和甚大规模等五类。所谓集成度是指每一芯片所包含的晶体管的个数，表 1-3 列出了几类数字集成电路的分类依据。

表 1-3 数字集成电路按集成度分类

| 分类         | 集成度                             | 典型集成电路                           |
|------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 小规模（SSI）   | 1~10 门/片<br>或 10~100 个元器件/片     | 逻辑门电路                            |
| 中规模（MSI）   | 10~100 门/片<br>或 100~1000 个元器件/片 | 译码器、编码器、选择器、计数器、寄存器、转换电路、算术运算部件等 |
| 大规模（LSI）   | 大于 100 门/片<br>或 1000 个元器件/片     | 微控制器、存储器、门阵列                     |
| 超大规模（VLSI） | 1000 门/片<br>或 10 万个元器件/片以上      | 大型存储器、微处理器、可编程逻辑器件、多功能集成电路       |

3. 按电路所用器件的不同分

数字电路按照电路所用器件的不同，可分为双极型（晶体三极管型）和单极型（场效应管型）两大类。其中双极型电路常用的类型又有标准型 TTL、高速型 TTL（H-TTL）、低功耗



耗型 TTL (L-TTL)、肖特基型 TTL (S-TTL)、低功耗肖特基型 TTL (LS-TTL) 等; 单极型电路又有 JFET、NMOS、PMOS、CMOS 等。

## | 1.2 数制的转换、运算与编码 |

### 1.2.1 常用数制

数制就是记数法、进位制, 目前人们通用的数制是十进制, 但使用十进制并非是天经地义的, 它只不过是来源于远古时代用十指记数的一种约定俗成的习惯。事实上, 在我们的生活中也有使用非十进制的实例, 如日期、时间的表示和进位以及英制度量衡等, 下面就几种常用的数制分别进行介绍。

#### 1. 十进制 (D)

数制所使用的数码的个数为基, 数制的每一位所具有的值称为权。十进制是以 10 为基数的计数体制, 即它所使用的代码为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9, 共有 10 个。十进制的权是以 10 为底的幂, 如  $10=1\times 10^1+0\times 10^0$ 。每个十进制数都可以用位权值表示, 其中, 个位的位权为  $10^0$ , 十位的位权为  $10^1$ , 百位的位权为  $10^2$ , 依此类推。

例如,  $402.8=4\times 10^2+0\times 10^1+2\times 10^0+8\times 10^{-1}$

从数字电路的角度来看, 采用十进制是不方便的, 因为构成数字电路的基本思路是把电路的状态与数码对应起来, 而十进制的 10 个数码, 必须有 10 个不同的而且能严格区分的电路状态与之对应起来, 这样将在技术上带来许多困难, 而且不经济, 因而在数字电路中一般不直接采用十进制, 而采用二进制。

#### 2. 二进制 (B)

二进制是用两个数码 0 和 1 表示, 而且是“逢二进一”, 即  $1+1=10$  (读为“壹零”), 注意: 这里的“10”与十进制数的“10”是完全不同的, 它不代表“十”, 右边的“0”表示 0 个  $2^0$ , 左边的“1”表示 1 个  $2^1$ , 即  $10=1\times 2^1+0\times 2^0$ , 可见, 二进制的权是以 2 为底的幂。

使用二进制具有以下优点。

(1) 二进制只需用两种状态表示数字, 容易实现

计算机是由电子元器件构成的, 二进制在电气、电子元器件中最易实现。它只有两个数字, 用两种稳定的物理状态即可表达, 而且稳定可靠。比如磁化与未磁化, 晶体管的截止与导通 (表现为电平的高与低) 等。而若采用十进制, 则需用 10 种稳定的物理状态分别表示 10 个数字, 不易找到具有这种性能的元器件, 即使有, 其运算与控制的实现也极复杂。

(2) 二进制的运算规则简单

加法是最基本的运算, 乘法是连加, 减法是加法的逆运算 (利用补码原理, 还可以转化

为加法运算,类似钟表拨针时的计算),除法是乘法的逆运算,其余任何复杂的数值计算也都可以分解为基本算术运算复合进行。为提高运算效率,在计算机中除采用加法器外,也可直接使用乘法器。

众所周知,十进制加法和乘法运算规则的口诀各有 100 条,根据交换率去掉重复项,也各有 55 条,用计算机的电路实现这么多运算规则是很复杂的。

相比之下,二进制的算术运算规则非常简单,加法、乘法各仅 4 条,运算操作也比较方便。

### (3) 用二进制容易实现逻辑运算

数字电路不仅需要算术功能,还应具备逻辑运算功能,二进制的 0、1 分别可用来表示假(false)和真(true),用布尔代数的运算法则很容易实现逻辑运算。

但是,二进制也有一些缺点。比如,用二进制表示一个数时,位数多,使用起来不方便也不习惯。因此在运算时,原始数据多用人们习惯的十进制,在送入计算机时,就必须将十进制数据转换成数字系统能接受的二进制数,而运算结束后再将二进制数转换为十进制数,表示最终结果。

## 3. 八进制(O)和十六进制(H)

由于使用二进制数时位数很多,不便于书写和记忆,因此在数字计算机的资料中常采用十六进制数或八进制数来表示二进制数。上述十进制和二进制的表示法可以推广到十六进制和八进制。例如,八进制数采用 8 个数码,而且“逢八进一”。这种数制中有 8 个不同的数字:0、1、2、3、4、5、6、7,它是以 8 为基数的计数体制。十六进制数采用 16 个数码,而且“逢十六进一”。这种数制中有 16 个不同的数字:0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A(对应于十进制数中的 10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15),它是以 16 为基数的计数体制。

为便于记忆和理解,表 1-4 对二进制、八进制、十进制和十六进制进行了对照和比较。

表 1-4 二进制、八进制、十进制和十六进制对照比较情况

| 常用进制 | 英文表示符号 | 数码符号                            | 进位规律  | 进位基数 |
|------|--------|---------------------------------|-------|------|
| 二进制  | B      | 0、1                             | 逢二进一  | 2    |
| 八进制  | O      | 0、1、2、3、4、5、6、7                 | 逢八进一  | 8    |
| 十进制  | D      | 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9             | 逢十进一  | 10   |
| 十六进制 | H      | 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F | 逢十六进一 | 16   |

## 1.2.2 数制的转换

### 1. 其他进制转换为十进制

其他进制转换为十进制方法是,将其他进制按权位展开,然后各项相加,就得到相应的十进制数。



例 1: 将二进制数  $(11011.101)_2$  转换成十进制数。

$$\begin{aligned}\text{解: } (11011.101)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 16 + 8 + 0 + 2 + 1 + 0.5 + 0 + 0.125 \\ &= (27.625)_{10}\end{aligned}$$

例 2: 将八进制数  $(136.524)_8$  转换成十进制数。

$$\begin{aligned}\text{解: } (136.524)_8 &= 1 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} + 2 \times 8^{-2} + 4 \times 8^{-3} \\ &= 64 + 24 + 6 + 0.625 + 0.03125 + 0.0078125 \\ &= (94.6640625)_{10}\end{aligned}$$

例 3: 将十六进制数  $(FF)_{16}$  转换为十进制数。

$$\text{解: } (FF)_{16} = 15 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = 240 + 15 = (255)_{10}$$

例 4: 将十六进制数  $(13DF.B8)_{16}$   $[= (13DF.B8)_H]$  转换成十进制数。

$$\begin{aligned}\text{解: } (13DF.B8)_{16} &= 1 \times 16^3 + 3 \times 16^2 + 13 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 11 \times 16^{-1} + 8 \times 16^{-2} \\ &= 4096 + 768 + 208 + 15 + 0.6875 + 0.03125 \\ &= (5087.71875)_{10}\end{aligned}$$

## 2. 将十进制转换成其他进制

十进制转换成其他进制时, 需分两部分进行, 即整数部分和小数部分。

### (1) 整数部分 (基数除法)

- ① 把要转换的十进制数除以新的进制的基数, 把余数作为新进制的最低位。
- ② 把上一次得的商再除以新的进制基数, 把余数作为新进制的次低位。
- ③ 继续上一步, 直到最后的商为零, 这时的余数就是新进制的最高位。

### (2) 小数部分 (基数乘法)

① 把要转换数的小数部分乘以新进制的基数, 把得到的整数部分作为新进制小数部分的最高位。

② 把上一步得的小数部分再乘以新进制的基数, 把整数部分作为新进制小数部分的次高位。

③ 继续上一步, 直到小数部分变成零为止, 或者达到预定的要求也可以。

例 5: 把十进制数  $(25)_{10}$  转换成二进制数。

解: 由于二进制基数为 2, 所以逐次除以 2 取其余数 (0 或 1)。

|   |    |     |
|---|----|-----|
| 2 | 25 |     |
| 2 | 12 | 余 1 |
| 2 | 6  | 余 0 |
| 2 | 3  | 余 0 |
| 2 | 1  | 余 1 |
|   | 0  | 余 1 |

所以,  $(25)_{10} = (11001)_2$ , 即  $25D = 11001B$

例 6: 把十进制数  $173D$  转换成二进制数。

解: 由于二进制基数为 2, 所以逐次除以 2 取其余数 (0 或 1)。