

# 数字原理及应用

〔美〕A·P·马尔维塔 著  
D·P·利·奇

阎育苏 译

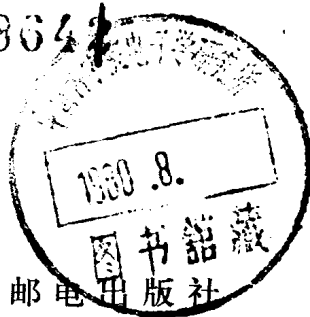
人民邮电出版社

51.344  
017

# 数字原理及应用

[美] A. P. 马尔维诺 著  
D. P. 利 奇  
阎 育 苏 译

1108642



人民邮电出版社

# Digital Principles and Applications

second edition 1975

## 内 容 简 介

本书以浅显易懂的叙述方式,讲解数字电子学的基本原理及其应用,使读者掌握数字电路原理的主要概念,进而对数字电子计算机、通信设备、自动控制等数字系统的基本原理有比较清晰的了解。每章开始都有提要,指出学习的重点,章内讲解层次清楚,有较多的举例,章末有本章要点的小结和主要名词术语的解释。各章都有思考题和习题,并在书末附有部分答案,使读者容易阅读、便于自学。具有初等数学和电工基础的读者就可以阅读。

## 数 字 原 理 及 应 用

[美] A. P. 马尔维诺 著  
D. P. 利 奇  
阎育苏 译

\*

人民邮电出版社出版  
北京东长安街27号  
北京印刷一厂印刷  
新华书店北京发行所发行  
各地新华书店经售

\*

开本:  $787 \times 1092 \frac{1}{32}$  1980年6月 第一版  
印张: 18  $4/32$  页数: 290 1980年6月北京第一次印刷  
字数: 416 千字 印数: 1—19,500 册  
统一书号: 15045·总 2383-有 5163  
定价: 1.45 元

## 译者前言

数字技术在近代科学技术和工程应用中占据着非常重要的地位。通信、数据处理、自动控制、测量仪表、宇航、军事等各个领域都愈来愈多地采用了数字技术。电子计算机的广泛应用就是一个突出例证。目前我国向四个现代化进军的新长征中,各条战线日益感到有必要学习掌握数字电子学的基本原理,以便进一步学习有关专业技术。

本书的特点,是能够从复杂的关系中,抓住主要的概念,深入浅出地加以阐述;全书结构安排得当,每章都有提要、小结、名词术语解释、例题、思考题和习题,书末又附有部分习题答案。读者只要具备初等数学和电工学的基础,就可看懂,可作为数字电子技术基础读物供自学参考。

此外,本书内容主要是结合小规模和中规模集成电路来写的,这对我国当前的情况较为适合。

由于译者水平有限,难免有错误不妥之处,恳请读者予以指正,以便改进。

译者

## 前 言

数字装置和数字系统的使用已经如幻想一般地增长起来，以致现在每个技术人员和工程师都至少必须了解数字电子学的基础知识。

本书的新版仍保留我们原先的写法。我们宁可强调那些不仅适用于计算机而且也适用于汽车、通信设备、数据处理、工业自动化、医药、过程控制、运输等方面的原理而并不集中于数字计算机、计算机结构与程序方面。对数字电子学的这个一般性的导论可为特殊领域中的学习研究打下更广阔的基础。

为了加强本书内容，使之现代化，我们在新版中作了以下的补充和修改：

1. 有关卡诺图和计算机结构的新的若干章节。
2. 关于晶体管-晶体管逻辑(TTL)、电流开关逻辑(ECL)和互补金属氧化物半导体(CMOS)逻辑的一些讨论。
3. 关于分立显示、条矩阵显示和点矩阵显示的资料。
4. 标准的小规模集成电路(SSI)、中规模集成电路(MSI)和大规模集成电路(LSI)如门、解码器、开锁、加法器、数字-模拟变换器和只读存储器(ROM)。
5. 全部插图采用工业通用的逻辑符号。

本书的主要预备知识是要求了解半导体二极管和三极管的工作原理。从篇幅和水平来看，本书适合作为数字电子学的初级教材。每章开始时有提要和学习目标，每章结束时有小结、名词术语解释、思考题和习题。

A. P. 马尔维诺 D. P. 利奇

# 目 录

## 第一章 引言

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1-1 雅卡尔德、巴贝基和布尔 .....       | 1  |
| 1-2 计算机 .....               | 3  |
| 1-3 饱和与非饱和逻辑 .....          | 4  |
| 1-4 双极型集成电路 .....           | 6  |
| 1-5 MOS 集成电路 .....          | 8  |
| 学习辅导 (小结、名词术语、思考题、习题) ..... | 10 |

## 第二章 数

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 2-1 二进制数 .....              | 12 |
| 2-2 二进制加法 .....             | 17 |
| 2-3 二进制-十进制转换 .....         | 20 |
| 2-4 十进制-二进制转换 .....         | 24 |
| 2-5 二进制减法 .....             | 27 |
| 2-6 十进制反码与十进制补码 .....       | 32 |
| 2-7 二进制乘法与除法 .....          | 33 |
| 2-8 八进制数 .....              | 35 |
| 2-9 八进制-二进制转换 .....         | 38 |
| 2-10 十六进制数 .....            | 40 |
| 学习辅导 (小结、名词术语、思考题、习题) ..... | 42 |

## 第三章 二进制码

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 3-1 8421 码 .....      | 47 |
| 3-2 余 3 码 .....       | 51 |
| 3-3 其他的四位 BCD 码 ..... | 57 |

|      |                             |    |
|------|-----------------------------|----|
| 3-4  | 奇偶监督位 .....                 | 60 |
| 3-5  | 五位码 .....                   | 64 |
| 3-6  | 多于五位的码制 .....               | 66 |
| 3-7  | 格雷码 .....                   | 67 |
| 3-8  | 字母数字显示 .....                | 71 |
| 3-9  | 十进制解码器 .....                | 74 |
| 3-10 | 七段解码器 .....                 | 77 |
| 3-11 | 点-矩阵解码 .....                | 78 |
|      | 学习辅导 (小结、名词术语、思考题、习题) ..... | 79 |

## 第四章 布尔代数

|      |                             |     |
|------|-----------------------------|-----|
| 4-1  | 或门 .....                    | 86  |
| 4-2  | 与门 .....                    | 90  |
| 4-3  | 正逻辑和负逻辑系统 .....             | 93  |
| 4-4  | 非电路 .....                   | 95  |
| 4-5  | 或加法 .....                   | 96  |
| 4-6  | 与乘法 .....                   | 98  |
| 4-7  | 非运算 .....                   | 100 |
| 4-8  | 德·摩根定理 .....                | 104 |
| 4-9  | 万用的构造单元 .....               | 109 |
| 4-10 | 布尔代数的定律与定理 .....            | 111 |
| 4-11 | TTL 与非门 .....               | 119 |
| 4-12 | TTL 规格 .....                | 122 |
| 4-13 | 抗干扰度 .....                  | 124 |
| 4-14 | 集电极-开路 TTL 和线-与 .....       | 125 |
| 4-15 | 线-或 .....                   | 129 |
|      | 学习辅导 (小结、名词术语、思考题、习题) ..... | 130 |

## 第五章 运算电路

|     |                         |     |
|-----|-------------------------|-----|
| 5-1 | 异或门                     | 135 |
| 5-2 | 半加器                     | 140 |
| 5-3 | 全加器                     | 143 |
| 5-4 | 并行二进制加法器                | 145 |
| 5-5 | 8421 加法器                | 147 |
| 5-6 | 余3 码加法器                 | 151 |
| 5-7 | 半减器和全减器                 | 152 |
| 5-8 | 晶体管-晶体管逻辑中规模集成电路TTL MSI | 155 |
|     | 学习辅导(小结、名词术语、思考题、习题)    | 159 |

## 第六章 简化逻辑电路

|      |                      |     |
|------|----------------------|-----|
| 6-1  | 基本乘积                 | 163 |
| 6-2  | 乘积之和                 | 167 |
| 6-3  | 与-或网络                | 169 |
| 6-4  | 代数化简                 | 172 |
| 6-5  | 由真值表到卡诺图             | 176 |
| 6-6  | 四变量卡诺图               | 180 |
| 6-7  | 二位组、四位组和八位组          | 181 |
| 6-8  | 卡诺图化简                | 186 |
| 6-9  | 随意状态                 | 194 |
| 6-10 | 与非-与非网络              | 199 |
| 6-11 | 其他方法                 | 203 |
|      | 学习辅导(小结、名词术语、思考题、习题) | 204 |

## 第七章 多谐振荡器

|     |               |     |
|-----|---------------|-----|
| 7-1 | RS触发器         | 208 |
| 7-2 | T'触发器和RST'触发器 | 212 |
| 7-3 | 四位二进制计数器      | 215 |
| 7-4 | 十进制计数器        | 219 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 7-5 使计数器选通            | 223 |
| 7-6 $D$ 触发器           | 225 |
| 7-7 $JK$ 触发器          | 228 |
| 7-8 施密特触发器            | 231 |
| 7-9 无稳态多谐振荡器          | 237 |
| 7-10 单稳态多谐振荡器         | 240 |
| 学习辅导 (小结、名词术语、思考题、习题) | 241 |

## 第八章 计数器技术

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 8-1 二进制串行计数器          | 247 |
| 8-2 利用反馈的修正计数器        | 250 |
| 8-3 并行计数器             | 253 |
| 8-4 竞争问题              | 257 |
| 8-5 串-并行混合计数器         | 263 |
| 8-6 有解码门的二-十进制计数器     | 269 |
| 8-7 较大模数的计数器          | 273 |
| 8-8 一种 BCD 计数器        | 276 |
| 学习辅导 (小结、名词术语、思考题、习题) | 278 |

## 第九章 特种计数器和寄存器

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 9-1 串行移位寄存器              | 282 |
| 9-2 环形计数器                | 286 |
| 9-3 移位计数器                | 289 |
| 9-4 有解码 (电路) 的模-10 移位计数器 | 298 |
| 9-5 数字式电子钟               | 301 |
| 9-6 可逆计数器                | 307 |
| 9-7 移位寄存器的操作             | 316 |
| 9-8 小规模集成电路和中规模集成电路      | 320 |
| 学习辅导 (小结、名词术语、思考题、习题)    | 323 |

## 第十章 输入输出设备

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 10-1 穿孔卡片 .....             | 328 |
| 10-2 纸带 .....               | 334 |
| 10-3 磁带 .....               | 337 |
| 10-4 数字记录方式 .....           | 342 |
| 10-5 其他外围设备 .....           | 346 |
| 10-6 电传打字机终端 .....          | 348 |
| 10-7 编码和解码矩阵 .....          | 350 |
| 学习辅导 (小结、名词术语、思考题、习题) ..... | 357 |

## 第十一章 数-模和模-数变换

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 11-1 可变电阻网络 .....           | 362 |
| 11-2 二进制梯形网络 .....          | 369 |
| 11-3 数-模变换器 .....           | 376 |
| 11-4 数-模变换的精度和分辨力 .....     | 381 |
| 11-5 模-数变换器——同时变换方式 .....   | 383 |
| 11-6 模-数变换器——计数器方式 .....    | 388 |
| 11-7 高级模-数变换技术 .....        | 394 |
| 11-8 模-数变换的精度和分辨力 .....     | 400 |
| 11-9 机电模-数变换 .....          | 402 |
| 11-10 数-模变换器控制 .....        | 406 |
| 11-11 复用数-模变换 .....         | 408 |
| 11-12 模-数变换器控制 .....        | 410 |
| 学习辅导 (小结、名词术语、思考题、习题) ..... | 411 |

## 第十二章 磁性器件及存贮器

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 12-1 磁心 .....      | 415 |
| 12-2 磁心逻辑 .....    | 421 |
| 12-3 磁心移位寄存器 ..... | 425 |

|      |                             |     |
|------|-----------------------------|-----|
| 12-4 | 电流重合存贮器 .....               | 430 |
| 12-5 | 存贮器寻址 .....                 | 443 |
| 12-6 | 双极型半导体存贮器 .....             | 445 |
| 12-7 | MOS 型半导体存贮器 .....           | 450 |
| 12-8 | 磁鼓存贮器 .....                 | 455 |
|      | 学习辅导 (小结、名词术语、思考题、习题) ..... | 459 |

### 第十三章 数字运算

|      |                             |     |
|------|-----------------------------|-----|
| 13-1 | 数的表示方法 .....                | 465 |
| 13-2 | 基本运算过程 .....                | 472 |
| 13-3 | 串行二进制加法器 .....              | 477 |
| 13-4 | 并行二进制加法器 .....              | 487 |
| 13-5 | BCD 加法 .....                | 491 |
| 13-6 | 一种并行 BCD 加法器 .....          | 495 |
| 13-7 | 二进制乘法 .....                 | 498 |
| 13-8 | 二进制除法 .....                 | 502 |
|      | 学习辅导 (小结、名词术语、思考题、习题) ..... | 507 |

### 第十四章 数字计算机入门

|      |                             |     |
|------|-----------------------------|-----|
| 14-1 | 基本时钟 .....                  | 512 |
| 14-2 | 时钟系统 .....                  | 517 |
| 14-3 | MPG 计算机 .....               | 520 |
| 14-4 | 通用计算机 .....                 | 525 |
| 14-5 | 计算机结构与控制 .....              | 530 |
| 14-6 | 计算机指令 .....                 | 535 |
|      | 学习辅导 (小结、名词术语、思考题、习题) ..... | 537 |
| 附录 A | 二进制数的状态和分辨力 .....           | 541 |
| 附录 B | 十进-八进-二进数换算表 .....          | 542 |
|      | 部分习题答案 .....                | 543 |
|      | 索引 .....                    | 552 |

# 第一章 引言

数字电子学究竟是怎样起源的？什么是计算机？什么是逻辑电路？这些是本章所回答问题中的几个。

学完本章以后，读者应能：

1. 说出数字计算机各主要部分的名称并加以描述。
2. 区分饱和逻辑和非饱和逻辑。
3. 说出五种双极型集成电路和一种金属氧化物半导体型(MOS)集成电路。

## 1-1 雅卡尔德 (Jacquard)、巴贝基 (Babbage) 和布尔 (Boole)

数字电子学发轫于文字历史以前几千年的穴居时代。当人类中的第一个人知道计数时，当他知道把数字名称和一个群体中的对象联系在一起时，就开始了数字电子学。当时大多数是用手指来完成计数的，因此那些基本的数的名称（一、二、三……）就称为数字<sup>\*1</sup>。

数的发明导致算术和各种计算工具如算盘、奈培计算杆<sup>\*2</sup>（最早的计算尺）和巴斯卡(Pascal)计算器（最早的加法机器）。但是在数字电子学的进展过程中真正决定性的发明是在十九世

---

\*1 译注：英文 digit 一词有双重含意：数字或手指。

\*2 译注：奈培计算杆是一组十一根骨头或木头制成的小杆。由奈培(Napier)发明，用以进行数字计算。

纪作出的。

首先，雅卡尔德(1801年)发明了自动织布机。其主要特点是使用了穿孔卡片。图 1-1 是其一例。在雅卡尔德的织布机中，针穿过这种卡片上的孔，把一个图样绣在布上。雅卡尔德利用有各种不同孔洞的卡片，能够很方便地和可靠地制作出各种图样。

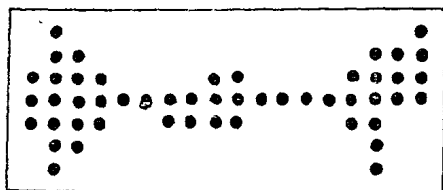


图 1-1 穿孔卡片

在 1833 年，巴贝基想出了第一台计算机，这是一台使用穿孔卡片自动进行算术运算的机器。根据预先安排好的码，卡片上孔洞的某种组合应当代表某数或某指令。巴贝基计算机的关键概念是在运算开始前输入所有的数据和指令；然后，在命令之下，计算机就无须人的干预而自动地执行计算的所有各个步骤（这是计算器和计算机的主要区别。计算器要依靠人的参与，因为在计算器进行计算时必须有人把数据和指令送进去）。

在 1854 年，布尔发现了一种新的想法，一种新的推论事物的方法。他决心用符号代替文字来得到逻辑结论。在这过程中，布尔发现了一种模式，我们认为这使他发明了符号逻辑，这是一种依靠字母和符号进行运算的推理方法。符号逻辑在许多方面与普通代数相似。这就是为什么把它叫做布尔代数的缘故。

虽然布尔代数原先是为解决逻辑问题的，但它现在最大的用途是用来设计数字计算机。符号逻辑规则恰巧适用于计算机及其他数字系统中的电子电路。

## 1-2 计 算 机

巴贝基在 1833 年的工作为现代数字计算机（按照数字 0、1、2 等而运行的计算机）奠定了基础。让我们更仔细地看一看巴贝基做了些什么。根据巴贝基的见解，计算机必须有图 1-2

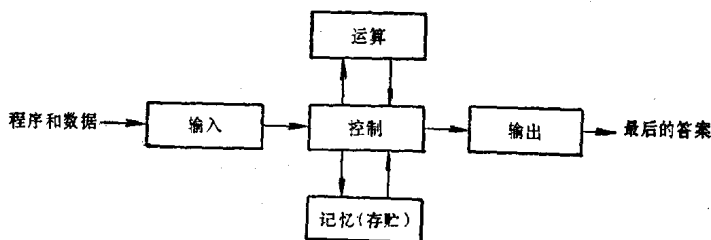


图 1-2 计算机的主要部分

所示的功能。图中每一方块的作用如下：

**输入** 它把一组叫做程序的指令和一组叫做数据的数传送到计算机。

**记忆(存贮)** 这里是计算开始前存贮数据和程序的地方。此外，在计算过程中也存贮中间答案，就好象我们把中间答案写在草稿本上一样。

**控制** 计算机的这一部分代替人工操作员。它指挥计算机的其他部分按程序规定进行数据处理。

**运算** 这一部分作加、减、乘、除运算。这听起来似乎不多，但它对于更高级的数学问题也已足够。为什么呢？因为即使是最难的问题通常也能化成算术算法，即一串简单的、其每一步的结果都用于下一步的算术运算。

**输出** 通过这一部分把最后答案从计算机传送到外界。

巴贝基从来没有建造过一个数字计算机的工作模型，但是他的笔记证明他知道怎样做。他的想法开拓了整个新世界并导致今天的现代计算机。

根据巴贝基的想法所制成的第一台电子计算机出现于五十年代初期。这第一代计算机采用电子管。到五十年代末期，发展了第二代计算机(它们采用晶体管)。在六十年代初期，出现了第三代计算机，这些计算机使用晶体管和一些集成电路。目前正处于第四代计算机阶段，它们广泛使用集成电路。

计算机对电子学的所有领域都给了巨大的冲击。某些原来为计算机而发展出来的数字电路目前正用于汽车、通信、数据处理、工业自动化、生产控制、医学、运输等各个方面。

### 1-3 饱和与非饱和逻辑

数字计算机的电路复制了智能上的逻辑过程。正由于这点，布尔代数可用来分析和设计数字计算机。凡可用布尔代数分析的电路统称为逻辑电路。

逻辑电路的输出是一个低电压或一个高电压。例如，图1-3示出一个简单的逻辑电路，它使用一个 $\beta_{ac}$ 大于10的晶体管。在时间为A点之前，输入电压为零而晶体管截止；所以，输出电压是+5V。在时间为A点时，输入电压由0V跳变到+5V，足以驱使晶体管饱和；于是在理想情况下，输出电压就立刻从+5V降为0V。以后，在时间为B点时，输入电压回到0V，所以输出电压也回到+5V。重要而应该记住的是，逻辑电路的输出或是一个低电压，或是一个高电压。

当逻辑电路使用饱和和晶体管时，该电路属于饱和逻辑电路，或简称为饱和逻辑。大多数逻辑电路均属此类。但也有一

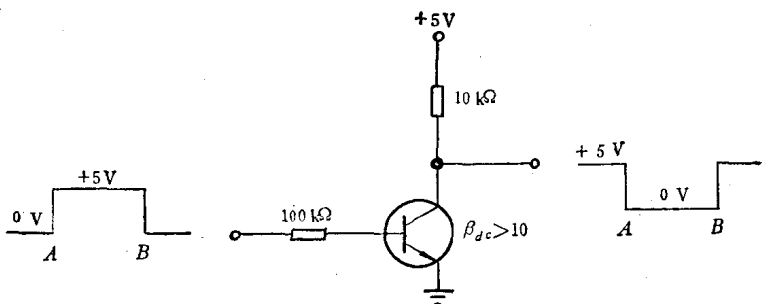


图 1-3 饱和逻辑电路

些逻辑电路是有意地防止饱和的；这些电路就称做非饱和逻辑。

饱和逻辑的缺点是：晶体管脱离饱和时产生延迟。当晶体管深度饱和时，有大量的多余载流子充溢在基区。即使基极电压突然取消，晶体管仍然继续饱和，直到所有的载流子离开基区为止。多余载流子离开基区所需要的时间叫做饱和延迟时间（用  $t_s$  表示）。

譬如，晶体管的  $t_s$  可以是 40 ns。在图 1-3 中，这意味着在时间 B 点时，输出电压不是立刻上升而是在晶体管脱离饱和以前延迟了 40 ns。

在大多数应用中，饱和延迟时间小到可忽略不计。但也有一些应用中要求开关速度尽可能快。这里就引进了非饱和逻辑。在电路设计中使晶体管避免饱和，就可消除饱和延迟时间。这样所得到的电路可以非常迅速地导通与切断。这就是非饱和逻辑优于饱和逻辑之处。

## 1-4 双极型集成电路

前面已经说过, 我们现在正处于第四代计算机阶段, 这些计算机几乎完全使用集成电路。集成电路(IC)的两个基本类型是双极型和金属氧化物半导体(MOS)。本节讨论双极型 IC, 而在下一节将讨论 MOS IC。

最早的双极型 IC 只使用电阻和晶体管。他们被叫做**电阻-晶体管逻辑**, 缩写为 RTL。图 1-4 示出两个 RTL 的例子。在正常工作时, 晶体管总在截止与饱和之间导通与切断; 所以 RTL 是一种饱和逻辑。RTL 只有历史上的意义, 因为它有这样多的缺点, 现在实际上已被废弃不用。

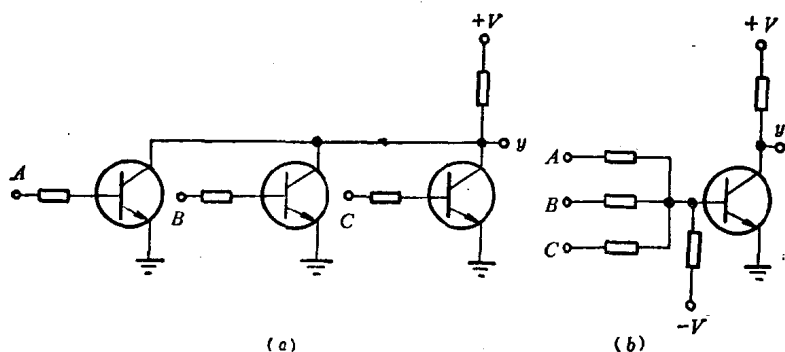


图 1-4 RTL 的两个例子

在 RTL 之后, 出现了**二极管-晶体管逻辑(DTL)**。图 1-5 示出许多可能的例子中的两个。在 DTL 中, 有源的集成元件是二极管和晶体管。同样地, 晶体管也是在截止与饱和之间工作, 所以 DTL 也属于饱和逻辑类。虽然 DTL 现仍有用, 但它已正在被较新的类型所代替。