

数字电子学

理论与实际

美] W · H · 高斯曼 著 李 昔 译

TP 331.2
G 20

222168

数 字 电 子 学

——理论与实际——

〔美〕 W.H. 高斯曼 著

李 普 译



国防工业出版社

内 容 简 介

随着以电子计算机为主的数字技术的发展, 数字电子学已成为电子工程的一门主要基础课程。欧美各国早已开始系统介绍数字电子学, 并在高等院校有关专业设置这门课程。本书就是 W. H. 高斯曼教授在讲授“数字电子学”的基础上编写而成的。内容包括数字电子学的发展、数制、二进制代码、布尔代数、逻辑硬件、组合逻辑、同步逻辑基础、其它时序电路、数字集成电路、数字式计算机、模拟-数字转换等。每章除文字说明外, 还有大量的例题和习题, 很适于自学。本书可供从事电子工程的工程技术人员和高等院校有关专业的师生们作参考。

329/03
DIGITAL ELECTRONICS
An Introduction To Theory and Practice
WILLIAM H. GOTHMANN
PRENTICE-HALL, INC. 1977.

数 字 电 子 学

——理论与实际——

〔美〕W. H. 高斯曼 著

李 普 译

责任编辑 耿新暖

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168 $1/32$ 印张 $12\frac{3}{4}$ 335千字

1985年3月第一版 1985年3月第一次印刷 印数: 0,001—9,250册

统一书号: 15034·2764 定价: 2.35元

前 言

数字电子学正在很快地进入以前由模拟技术所独占的领域。为了使工程技术人员适应这种变化,本书将把这个生动活泼的领域介绍给他们,并使他们在基本设计技术方面奠定一个完整的基础,因而本书适于工科大专院校或中等专业学校作为数字电子学的第一部教材。

目前已经有一些深入论述数字理论方面的书籍,也有一些详细讨论逻辑硬件方面的书籍。但是,理论本身是有局限性的,而仅仅讨论目前使用的逻辑硬件,也一样有局限性。对设计人员来说,这两个方面都须要了解。本书作为理论和实践之间的桥梁,为设计人员提供了解决现有数字技术问题所必须具备的手段,并使他们具有解决将来不断变化的数字技术问题的基础。

第一章对测量仪表、通信、控制系统和计算技术中所使用的数字和模拟技术作了比较。介绍了数字电子学和计算机的发展简史,描绘了它们今天快速发展的概貌。

第二章介绍二进、八进和十六进制。读者将学会应用以前所熟悉的十进制加法和乘法表来运算八进数的新方法。

第三章介绍二进制代码。不仅研究诸如8421码、格雷码、BCD码和汉明码等数字代码,也研究了所有常用的字母数字代码,例如ASCII码、EBCDIC码和何勒内斯码等。

第四章介绍布尔代数和美国军用标准 MIL STD-806C 逻辑符号。为了向读者介绍真值表的解释和逻辑符号,应用理想归纳法证明了大量的定理。另外,因为它们在电子学中比较巧妙特殊,所以每当引入一个逻辑符号时,就同时给出能完成这个逻辑功能的晶体管、继电器和二极管电路。

第五章的内容能使读者熟悉晶体管(包括双极型和场效应器

件)的开关特性和现在使用的各类逻辑电路,并比较了它们的优缺点。

第六章向读者介绍了组合逻辑和布尔表达式的简化。对积之和、和之积以及混合函数都作了研究。也讨论了奎因-麦克卢斯基(Quine-McCluskey)算法。

第七章向读者介绍了时序逻辑,提出了应用T型、D型和JK型触发器设计计数器的理论和方法。对脉动、非顺序和循环计数器也作了讨论。

第八章是第七章的继续,它是应用计数器和移位寄存器来解决脉冲串的产生问题。同时还介绍了线性序列电路。在异步逻辑这一节里,把同步逻辑电路的设计知识尽可能多地照搬过来,从而得到了相类似的设计方法。

几年以前,数字技术的教科书,到第八章就可以结束了。但是,随着中规模和大规模集成电路的出现,只懂得触发器、门和反相器是不够的。因此,第九章又介绍了大规模逻辑功能的知识,例如运算单元、多工器、译码器、存储器和其它逻辑功能等。这些都是可以用来组成系统的逻辑元件。

对逻辑电路的设计人员来说,数字计算机变得越来越重要了。它可以作为一个工具,也可以成为一种最后的产品。因此第十章介绍了计算机和计算机系统,也讨论了目前正越来越多地代替传统逻辑设计的微处理机。

比尔·高斯曼

华盛顿,斯波坎

目 录

第一章 数字电子学的发展	1
1-1 早期历史	1
1-2 数字和模拟方法	1
1-3 数字计算的发展史	6
1-4 小结	16
1-5 习题	17
第二章 数制	18
2-1 用于数字电子学的数制	18
2-2 十进制	18
2-3 二进制	19
2-4 八进制	31
2-5 十六进制	38
2-6 计算机中的二进制运算	44
2-7 变换算法	56
2-8 小结	58
2-9 习题	58
第三章 二进制代码	62
3-1 不相适应	62
3-2 加权二进制代码	62
3-3 非加权代码	63
3-4 错误检测码	67
3-5 错误校正码	69
3-6 字母数字代码	71
3-7 小结	77
3-8 习题	78
第四章 布尔代数	81
4-1 二进制判定	84

4-2	布尔代数的发展	81
4-3	真值函数	82
4-4	布尔代数引论	85
4-5	与操作	85
4-6	或操作	89
4-7	非操作	93
4-8	布尔代数定律	96
4-9	布尔表达式的简化	103
4-10	布尔表达式和逻辑电路	105
4-11	通用积木式元件	107
4-12	负逻辑	113
4-13	小结	114
4-14	习题	115
第五章	逻辑硬件	118
5-1	实际问题	118
5-2	作直流开关用的二极管	118
5-3	作交流开关用的二极管	123
5-4	作直流开关用的双极晶体管	124
5-5	作交流开关用的双极晶体管	125
5-6	作开关用的场效应晶体管	126
5-7	逻辑规范	129
5-8	逻辑系列	132
5-9	逻辑组件	139
5-10	小结	139
5-11	习题	144
第六章	组合逻辑	145
6-1	引言	145
6-2	小项	146
6-3	真值表及方格图	148
6-4	应用方格图解数字问题	156
6-5	积之和方格图的简化	157
6-6	和之积的简化	168
6-7	混合函数	174

6-8 不完全指定的函数	181
6-9 多输出函数的最简化	186
6-10 制表最简化	191
6-11 小结	196
6-12 习题	197
第七章 同步逻辑基础	200
7-1 时序逻辑	200
7-2 触发器	201
7-3 数字计数器	206
7-4 脉动计数器的设计	206
7-5 T型计数器的设计	219
7-6 D型计数器的设计	226
7-7 JK型计数器的设计	230
7-8 循环计数器	236
7-9 小结	239
7-10 习题	239
第八章 其它时序电路	242
8-1 引言	242
8-2 脉冲串发生器	242
8-3 移位寄存器	254
8-4 定时电路	267
8-5 异步时序电路	269
8-6 小结	283
8-7 习题	284
第九章 数字集成电路	286
9-1 中规模 and 大规模集成电路	286
9-2 逻辑门	286
9-3 多工器、逆多工器、译码器和代码转换器	290
9-4 算术功能	303
9-5 触发器	311
9-6 移位寄存器	320
9-7 计数器	322
9-8 半导体存贮元件	325

9-9 光电子显示器件	338
9-10 高级功能	339
9-11 小结	339
9-12 习题	340
第十章 数字式计算机	342
10-1 计算机时代	342
10-2 计算机系统	342
10-3 计算机指令	344
10-4 指令的处理	347
10-5 存贮器	350
10-6 外围设备	354
10-7 微处理机	362
10-8 小结	364
10-9 习题	364
第十一章 模拟-数字转换	366
11-1 模拟配合数字	366
11-2 数/模转换	368
11-3 模/数转换	378
11-4 转换器的技术规格	387
11-5 小结	390
11-6 习题	391
部分习题的答案	392
参考文献	398

第一章 数字电子学的发展

1-1 早期历史

自从人类发现自己的手指或脚趾不止一个以后，记事的数字方法就已存在了。人们发现，可以利用他们的手指（或脚趾）把“二”这个概念和相应的手指数联系起来，这就使人类开始了一个全新的时期。例如，他可以把所需的棍棒数目和他想追求的对象数目联系起来。只是在又过了很久以后，人们才发现需要表示分数：半个长毛象或四分之一的剑齿虎。随着这一发展，便产生了两个不同的数学系统：模拟的和数字的数学系统。本书侧重介绍数字系统的分析和设计问题。

1-2 数字和模拟方法

为了了解数字方法，就必须了解它跟模拟方法的不同之处。术语“数字式”是指用离散单位所完成的任何过程。手指、脚趾、石块、大象和细菌都是实例。它们中的每一个都可以作为一个整数中的一个单位或一组单位。用这些手指、脚趾、石块、大象和细菌的相加就可以执行加法。

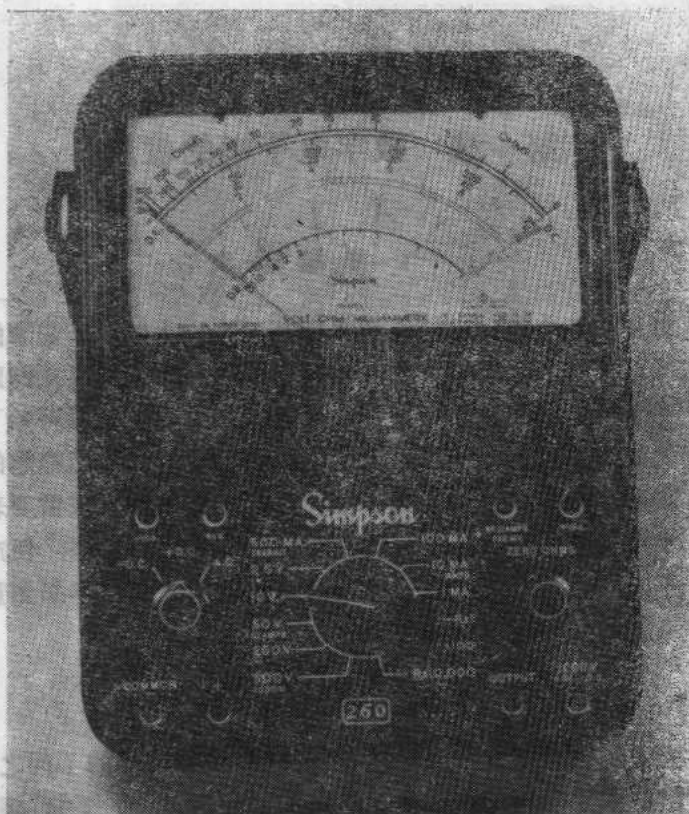
模拟数不同于数字式的数，它表现为可以直接量度的量，如电压、电阻、转角和距离等。注意“模拟”和“类比”的相似性，二者都表示出实物和实物的代表之间的对应关系。所以，在模拟方法中，数15可能表示电表指针的 150° 转角、沉舟的水深或木尺上相应的长度。加法可以用指针转角、水深或标尺长度的相加来完成。

测量仪表

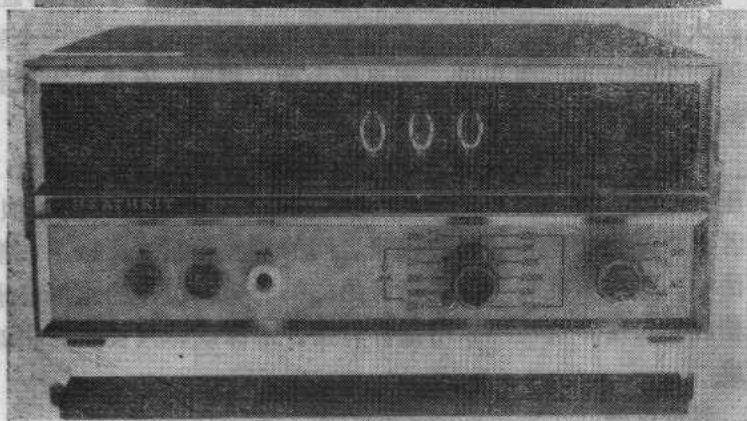
在电子学中，已广泛采用模拟式方法，即用电表来表示诸如

牢握油
册(抓
个一丁
叠板面
伏示表
丁空汽
破食重

朱, 盘
百, 制
露, 露
融, 融
破, 破
封, 封
研, 研
只, 只
来, 来



(a)



(b)

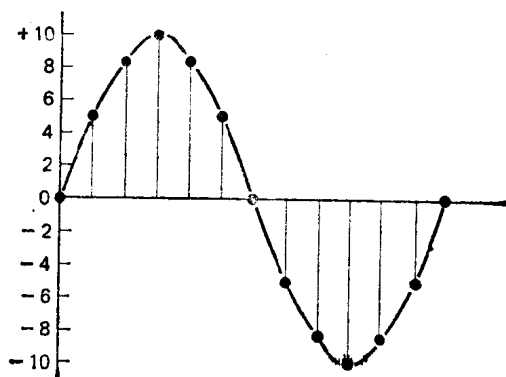
图1-1 数字式和模拟式电表

(a) 模拟式万用表; (b) 数字式万用表。

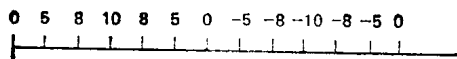
强度、频率、速度和时间等物理量。这些刻度型电表的优点是观测者能一眼看出偏转了满刻度的百分之几；缺点是观测者要对读数加以说明。这不仅需要较多的时间，而且在读数中也引入了“观察误差”。不同的观察者会得到不同的信息。这些问题在应用数字显示仪表时就可以得到解决（见图1-1）。这一优点加之集成电路成本大幅度降低，使得近年来数字电压表、面板式数字电表和其它数字显示装置得到了广泛的应用。人们喜欢使用“有多少就直接了当地说出多少”的测量仪表。

通信

目前，数字和模拟方法在通信中都有应用。数字通信是（图1-2）按足以确定波形的时间间隔对模拟波形进行取样，再将取样所得的表示振幅的数字值传送出去。对于多路信息，可以交替地对波形A和B进行取样（图1-3），将取样所得振幅变换为数字（数字化），最后把得到的数字信息传送出去。这种系统称为时分



(a) 波形

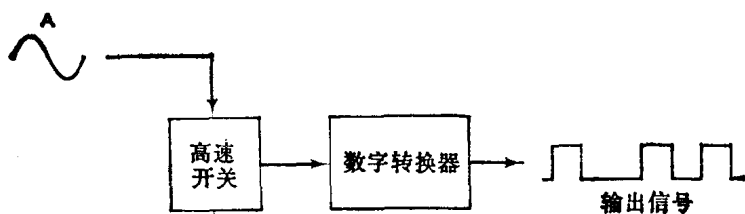


(b) 传输的数字

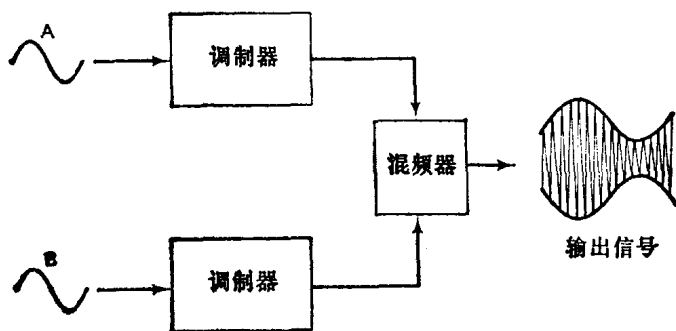
图1-2 数字化波形

多路 (TDM)，这是因为信号 A 和 B 是从时间上分割开的缘故。

TDM和直接模拟方法〔图1-3(b)〕不同，直接模拟法是用调制器对每个信号提供不同的载波频率进行调制，然后将这些已调信号在混频器中合并，并将合成信号传送出去，这种传送方法称为频分多路 (FDM)。当前在语言信息的传送中，TDM和 FDM 都在应用。



(a) 时分多路



(b) 频分多路

图1-3 多路通信

控制系统

控制系统也使用数字和模拟两种技术。在数字控制系统中(图1-4)，用马达转轴检出的数字信息来表示马达的旋转位置。将它和控制器所指定的位置信号加以比较，比较器输出的误差信号就表示了转轴所在位置和应有位置之间的差别。然后，这个以数字

脉冲形式表示的误差信号就命令马达向适当的方向运动，以减小误差。同样，在模拟控制系统中，是用检出的电压和控制器中的给定电压相比较，从而产生误差信号。然后，这个模拟误差信号便使马达向适当方向旋转，以减小误差。

计算机

数字和模拟这两种方法都已用于计算（图1-5），数

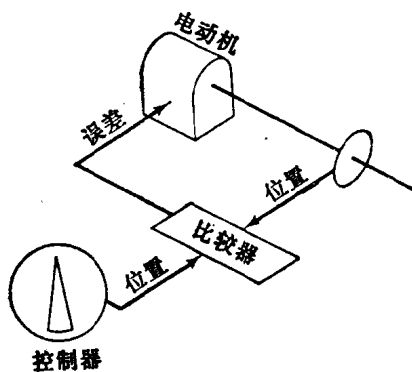
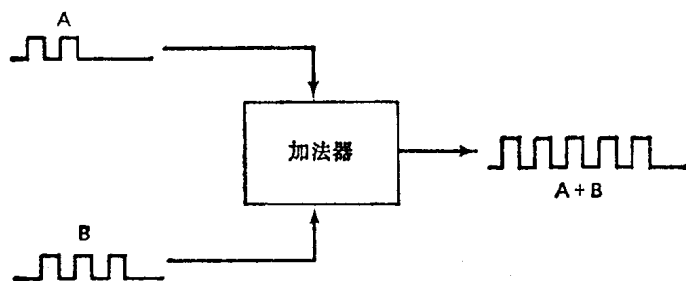
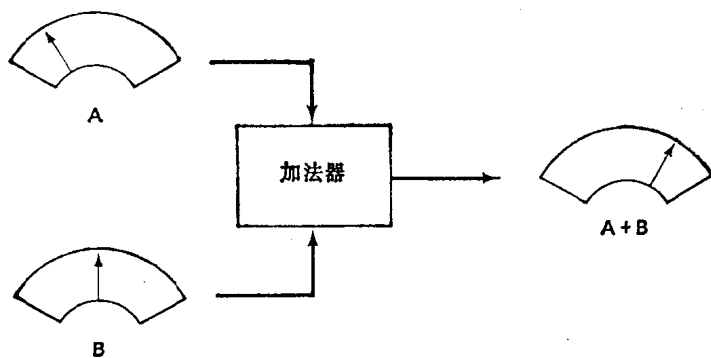


图1-4 控制系统



(a) 数字式



(b) 模拟式

图1-5 计算机算术运算

字计算机所用的算法和纸笔所能做的算法相同，也能加、减、乘、除，然后获得一个精确到一个数字的输出。模拟计算机则用电压和电位器转角来表示数值，然后进行加、减，甚至积分，而获得一个最后的输出电压。这个结果由观测者从面板电表或图形记录器上读出（并译出）。

1-3 数字计算的发展史

因为“数字”这个词代表着离散计算单位，所以在早期，其大多数应用必然是在计算装置方面。下面我们将说明计算科学的一些发展史。

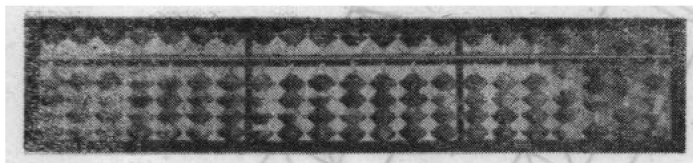
算盘

很早以前，人们在灰上进行计算——作一个记号是1，作两个记号是2，等等。算盘一词的英文“abacus”的原始涵义就是“灰”，即在灰上作记号的意思。以后，希腊人和罗马人制造了在大理石桌面上放有珠子的计算系统。这些珠子分组构成个位、十位、百位，等等。以后又在大理石桌面上刻凹槽，使珠子能自由移动。

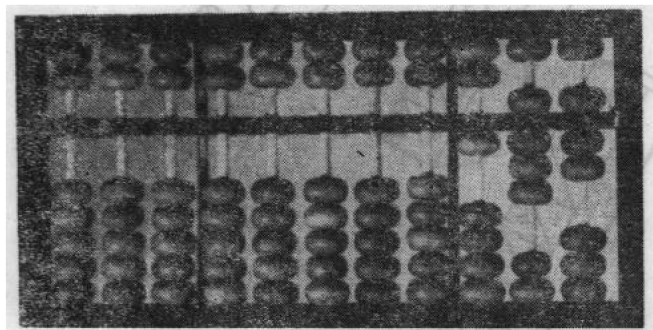
今天，就我们所知，算盘的应用，最早有文字记载的，始于公元前五世纪。直到十二世纪阿拉伯数字广为传播以前，算盘在欧亚两洲一直得到广泛的应用。后来阿拉伯数字引入欧洲，算盘逐渐不用了。在那里，阿拉伯数字取代算盘是相当彻底的，以致于拿破仑军队的一个军官在俄国“发现”了算盘都感到大为惊奇。

其实，算盘也是以罗马数字为基础的简单数字装置。横杠以上的算珠拨向横杠，其值为五〔图1-6(a)〕，横杠以下的算珠拨向横杠，其值为一。所以，每一列可计数到九。各列排得和十进数字一样；右边是个位列，其次是十位列，依此类推。

目前使用的算盘有两种形式：中国型和日本型。中国型算盘和日本型算盘相似，只是中国型每一列有两个数值为五的算珠和五个数值为一的算珠。



(a)



(b)

图1-6 算盘

(a) 日本型, (b) 中国型

计算机的发展

1614年,著名的苏格兰数学家奈培(John Napier)发明了对数,使复杂的数学函数变得容易计算了。对数在本质上是一种模拟,它模拟一个实际的数。

三年以后,奈培又发明了执行乘法的数字方法。他用具有四个面的“杆”或“骨”做了一个装置,在这些面上的数字如图1-7所示。应用时选定数字杆,把它们排列起来,使杆的顶部显示出第一个操作数。在图1-8所示的例子中,要求数642乘以72。选择6、4和2数字的杆放在1数字杆的边上,如图所示。首先,642乘7。做这个乘法时,看1数字杆的第七行,读出答数4494。请注意,进位是自动加到下一个数字上去的。决定了答数后再乘以10(因为我们要乘70而不是乘7)而得44940。其次,用同样的方法使642乘2。将两个结果相加在一起就是最后的答数。虽然这个装置已成历史,但它是计算装置发展中的一环。

十五年以后,即1632年,一位有名的英国数学家奥特雷德

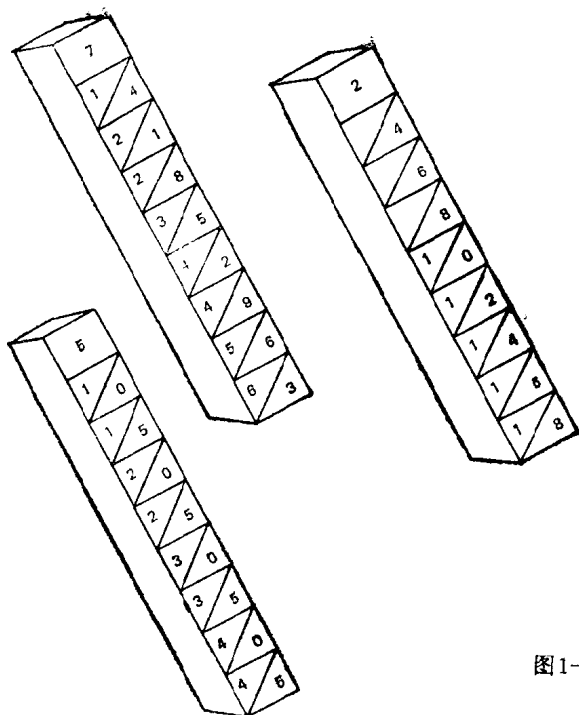


图1-7 奈培杆

	6	4	2	1
①	1	8	4	2
2	1	8	1	2
3	2	4	1	6
4	3	0	2	8
5	3	0	0	1
6	3	6	2	4
7	4	2	1	8
8	4	8	3	1
9	5	4	3	6

$$2 \times 642 = 1284$$

$$7 \times 642 = 4494$$

$$70 \times 642 = 44940$$

$$2 \times 642 = 1284$$

$$72 \times 642 = 46224$$

图1-8 用奈培杆的乘法