

电路及应用问答

孙志馨 尹更生 编



机械工业出版社

本书内容主要包括组合电路的分析和设计、TTL 和 CMOS 数字集成电路及其接口、典型的组合逻辑电路、锁存器与触发器、计数器和移位寄存器、波形变换与数字信号源、怎样阅读数字电路逻辑图、微型计算机和微处理器、数—模转换、模—数转换等。

本书编写采用了问答形式，共编入一百多题，为了使读者巩固所学的知识，书中还有较多的例题及练习。

本书着重从物理概念上说明问题，是一本便于自学、篇幅短小、实用性较强的数字电路读本。

本书适用于各类工程技术人员阅读，也可作为有关电类大专师生的参考书。

数字电路及应用问答

孙志馨 尹更生 编

责任编辑：孙 瑞

封面设计：郭

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京市朝阳区展望印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $12 \frac{1}{2}$ · 插页 1 · 字数 275 千字

1987年10月北京第一版·1987年10月北京第一次印刷

印数 0,001—6,060 定价：3.00元

统一书号：15033·6967

前 言

数字电路日新月异，经过短短的十年时间，已经完成了从分立向集成过渡。当今各种系列的中大规模集成电路充斥市场，因此，本书在内容选材上，力争做到跟上形势。在讨论各种电路时，努力贯彻以中大规模集成为主，对一些陈旧的电路较少涉及。在讨论集成电路基础知识时，着眼于应用，着重分析集成电路的外部特性，而把芯片内部电路结构放在次要的地位。除此以外，我们还把微型机的硬件结构原理做为一个重点，其目的在于说明各种逻辑部件的应用，同时将数字电路与微型机有机地结合起来，为学习微机打下硬件方面的基础。

我们还专门开辟了“读图练习”一章。此外，还增加了数模和模数转换的实际应用等。书中的习题有一部分也是从实际工程中提取的。

在编写本书时，我们放弃了一般教材中的直叙方式，而采用了问答的形式，力求重点突出、简明扼要、通顺易懂，一个问答解决一个问题。为了避免支离破碎，我们还是按传统的章节编写全书，它保证了内容的完整性和系统性。

本书在编写的过程中，很多同志提出了宝贵的意见，对提高本书的质量起了重要的作用，作者对此表示衷心的感谢。

作者 1986.6

目 录

前言

第一章 数字集成电路的基本概念	1
1. 你了解数字电路?	1
2. 数字电路中的基本器件是什么?	2
3. 怎样用逻辑概念解释数字电路的工作?	4
4. 数字电路中有哪些基本的逻辑关系?	6
5. 什么叫做布尔代数?	11
6. 怎样应用布尔代数实现门的变换?	13
7. 我们从摩根定理得到的启示是什么?	16
8. 摩根定理还揭示了什么规律?	20
9. 输入端带有小圈的门电路表示法有什么实用价值?	22
习题	26
第二章 组合逻辑电路的分析和设计	30
10. 什么是二进制数、二-十进制数和十六进制数?	30
11. 怎样用真值表和逻辑函数式表达实际的逻辑要求?	35
12. 你会用布尔代数简化逻辑函数吗?	38
13. 基本逻辑运算“与”“或”“非”的图解含意是什么?	39
14. 怎样用卡诺图表示逻辑函数?	42
15. 用卡诺图化简逻辑函数的要点是什么?	47
16. 对于有多个输出变量的逻辑函数怎样化简?	50
17. 对于具有无关最小项的逻辑函数该怎样化简?	53
18. 给定一个实际的逻辑要求, 你能设计出相应的逻辑电 路吗?	56
19. 在组合逻辑电路中, 为什么会出现“险象”, 怎样消除 “险象”?	59
20. 你会分析现成的组合逻辑电路吗?	62

VI

习题	67
第三章 TTL 和 CMOS 数字集成电路及其接口	70
21. 什么是 TTL 集成电路?	70
22. 为什么要发展 CMOS 集成电路?	74
23. 怎样组成 CMOS 集成电路?	77
24. 怎样评价 TTL 和 CMOS 集成电路的抗干扰能力?	79
25. 怎样计算 TTL 和 CMOS 集成电路的带负载能力?	82
26. 怎样定义集成电路的速度?	88
27. 什么叫做集成电路的功耗?	90
28. 为什么要发展肖特基 TTL 电路?	93
29. 怎样使用集电极开路门?	95
30. “三态逻辑门”有什么用途?	98
31. TTL 和 CMOS 间怎样接口?	100
习题	104
第四章 典型的组合逻辑电路	108
32. 怎样构成十进制数转换成二进制码的电路?	108
33. 怎样用逻辑电路实现加法运算?	112
34. 怎样用逻辑电路比较两个一位的输入量?	115
35. 如何比较两个多位输入量?	117
36. 怎样用 BCD 码驱动七段显示器?	121
37. 什么叫做 4 线—10 线译码器和 n 线— 2^n 线?	126
38. 什么叫做多路选择器和多路分配器?	130
39. 多路选择器和多路分配器有什么用途?	133
40. 你知道只读存贮器的结构原理吗?	135
41. 只读存贮器有什么用途?	140
习题	143
第五章 锁存器与触发器	146
42. 什么叫做 RS 锁存器?	146
43. “与非”门 RS 锁存器与“或非”门 RS 锁存器有何区别?	151

44. 什么是D型锁存器? 它主要用在何处?	153
45. D触发器是怎样起记忆作用的? 它与D锁存器有何区别?	156
46. 什么叫JK触发器?	159
47. 怎样使用触发器的置位端和复位端?	166
48. 触发器有哪些实际应用?	171
49. 什么叫做触发器的数据建立时间和保持时间?	174
50. 你能总结锁存器和触发器的触发特点吗?	176
51. 选用触发器时, 应注意哪些参数?	176
习题	180

第六章 计数器和移位寄存器 185

52. 什么是 2^N 进制计数器?	185
53. 怎样分析计数器电路?	188
54. 异步计数器和同步计数器的特点是什么?	194
55. 怎样构成任意进制的异步计数器?	196
56. 怎样使中规模集成计数器?	201
57. 用什么部件暂存数据?	206
58. 怎样使寄存器中的数据移位?	209
59. 怎样产生多路脉冲序列?	212
60. 移位寄存器有哪些实际应用?	217
61. 你知道双向移位寄存器的结构原理吗?	221
62. 学完这章后, 你是否已建立下列概念?	223
习题	223

第七章 波形变换与数字信号源 228

63. 怎样用集成逻辑门将宽脉冲变换为窄脉冲?	228
64. 怎样用集成逻辑门将窄脉冲展宽?	231
65. 施密特触发器实现整形的原理是什么?	235
66. 怎样消除开关抖动对数字电路的影响?	240
67. 怎样用集成逻辑门产生时钟信号?	244

68. 怎样用施密特逻辑门产生时钟脉冲源?	250
69. 怎样获得高稳定度的脉冲源?	253
70. 你会使用单片集成单稳电路吗?	256
71. 怎样根据实际要求, 用单片集成单稳电路来定时和产生数字信号?	262
72. 如果需要长延时, 该怎样设计电路?	267
73. 集成定时器 5 G555 能用作数字信号源吗?	272
习题	278
第八章 怎样阅读数字电路逻辑图	279
74. 阅读逻辑电路图需要哪些基础知识?	279
75. 为什么你会感到束手无策?	284
76. 现在, 让我们一同阅读一张逻辑电路图?	287
77. 换一种类型, 你能搞清逻辑图的原理吗?	290
78. 通过阅图练习, 你能回答下列问题吗?	296
第九章 微型计算机和微处理器	300
79. 微型机由哪些基本部分组成?	300
80. 微处理器内包括哪些基本部件?	302
81. 微型机内的总线是怎样传递信息的?	305
82. 你知道微型机是怎样工作的?	308
83. 微型机实现减法运算的基本思想是什么?	313
84. 微型机中算术逻辑部件的基本结构怎样? 它是怎样实现加减运算的?	316
85. 你知道微型机中的累加器和程序计数器的结构原理吗?	317
86. 随机存贮器是怎样进行读写操作?	321
87. 信息是如何写入基本存贮单元? 又怎样从基本存贮单元读出?	324
88. 微处理器内的控制器是怎样控制微机操作的?	325
89. 怎样产生微操作控制信号?	330

90. 控制器究竟是如何组成的?	333
思考题及习题	337
第十章 数-模转换	339
91. 为什么要进行数-模和模-数转换?	339
92. 怎样利用权电阻网络将二进制数转换成模拟电压?	340
93. 怎样利用 T 形电阻网络将二进制数转换成模拟电压?	344
94. 让我们共同求解一个D/A转换电路的输出模拟电压	347
95. 什么是权电流D/A转换器?	350
96. 常用的D/A转换器集成芯片有哪些?	352
97. D/A转换器的性能主要由哪些参数衡量?	357
第十一章 模-数转换	360
98. 怎样利用并行比较型A/D转换将模拟电压转换成二 进制数?	360
99. 什么叫做逐步逼近型A/D转换?	364
100. 逐步逼近型A/D转换器的结构原理怎样?	365
101. 试分析一个逐步逼近型A/D转换实例?	367
102. 单积分A/D转换的基本思想是什么?	370
103. 双积分A/D转换的基本原理是什么?	372
104. 怎样评价各种A/D转换器?	376
105. 如何对一路模拟信号进行A/D转换?	379
106. 在数字电压表和数据采集系统中怎样应用A/D转 换?	382
107. 常用的A/D转换集成组件有哪些?	384

第一章 数字集成电路的基本概念

内容提要：晶体管工作在大的阶跃信号情况下，实际上只有两种状态，就是饱和与截止。工作在这种状态下的器件统称为“二值器件”，它是组成数字电路的基本元件。

用二值器件可组成“与”、“或”、“非”、“与非”和“或非”等五种门电路，它们是组成逻辑电路的基本单元。

逻辑电路输出与输入的关系可用逻辑函数来表达，而布尔代数又是对逻辑函数进行演算和简化的主要数学工具。

以上这些是本章讨论的重点。

1. 你想了解数字电路？

提起数字电路，或许你会感到陌生。其实，自从六十年代半导体集成技术问世以来，数字集成电路就领先地获得了迅猛发展。如今已在工农业生产、生物医电、交通运输、宇宙航行以及电子计算机等领域中放射着耀眼的光华，给人们的生产和生活带来巨大的变革。

拿人类生产和生活的必需品钟表来说，由于大规模数字集成电路的发展，形成了数字式电子钟表，它冲破了传统机械钟表的一统天下，以其耐震、可靠、价廉而得到人们的青睐。

回想七十年代前，人们将算盘和计算尺作为基本的计算工具。那时，何曾想到，在十年后的今天，袖珍计算器已完全取代了计算尺，并逐步改变着人们长期使用算盘的习惯。

随着数字集成技术的不断提高，各种程序控制的数字设备在工业生产中不断涌现。如程控毛巾提花机和程控羊毛衫针织机的应用，大大地降低了劳动强度，提高了产品的质量。

数字电路的精华——微型计算机，被人们誉为“电脑”。这个名称名符其实。这不仅说明微型计算机可参予运算和控制，而且还象人的大脑那样，具有一定的独立“思维”能力，因此，出现了用电脑组成的机器人。

我们不禁要问，数字电路为什么会有这样大的作用呢？它的基本组成又是什么呢？这些正是本书想解决的问题。

2. 数字电路中的基本器件是什么？

各种数字设备和计算机之所以能发挥巨大的作用，从根本上讲是由于这些装置中大量地使用了所谓的二值器件。

什么是二值器件呢？简单地说，二值器件就是开关器件，也就是只有两个状态的器件。

例如图 1-1 所示的继电器就是一个典型的磁性二值器

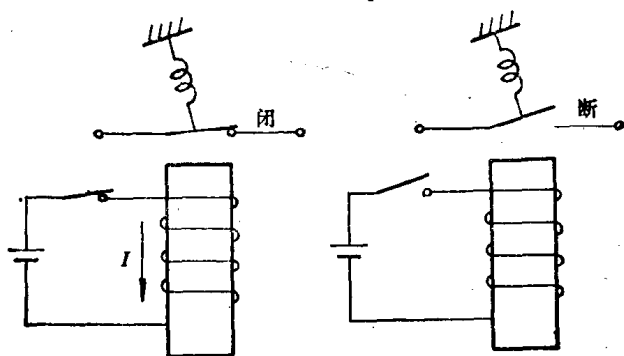


图1-1 电磁型二值器件

件。当线圈中有电流通过时，触点就闭合；而当线圈中没有电流通过时，触点就断开。因而，就触点而言，它只有两种状态，非开则闭。这种器件早在三十年代就为美国贝尔电话实验室所采用，成为应用于数字电路中的第一代二值器件。可是，继电器动作速度很慢，而线圈所需电流又较大，所以，它很快就被第二代二值器件真空管所代替。

科学技术飞速发展，真空管二值器件很快就被第三代二值器件—— $P-N$ 结二极管、双极型晶体三极管和场效应晶体管所取代。就二极管而言，当外加正向电压时，二极管导通，等效于一个接通的开关；反之，若外加反向电压时，二极管则截止，等效于开关断开。而拿晶体管来说，当其基极通过较大的电流时，晶体管饱和导通，等效于一个接通的开关；而只要在基极和发射极间加上反向电压，又可使晶体管工作在截止状态，等效于开关断开。因此，二极管和晶体管就成了第三代二值器件，如图 1-2 所示。

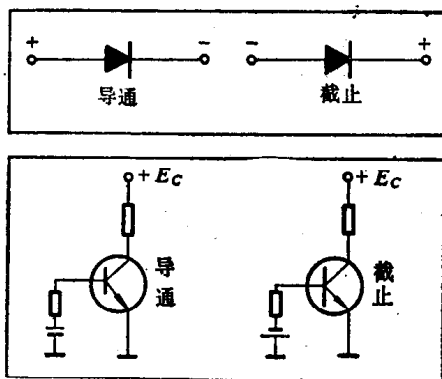


图1-2 电子型二值器件

为什么数字系统中要使用二值器件呢？这是因为二值器

件的状态非常确定和可靠。它只有两个简单的状态——饱和与截止，无第三种状态可选择。在实际工程中，二值状态很容易用电子器件来实现。也曾有人想设计出一种器件，具有四个状态，最后没有取得成功。

近十多年来，由于工艺和结构的不断完善，在分立元件半导体开关基础上，生产了大规模数字集成电路，它以优越的性能远远地将继电器、真空管和晶体管抛在后面，形成当今广泛使用的第四代二值器件。

3. 怎样用逻辑概念解释数字电路的工作？

分析用二值器件组成的数字电路，不能沿袭模拟电路的分析方法，必须建立新的概念，用新的方法进行研究。

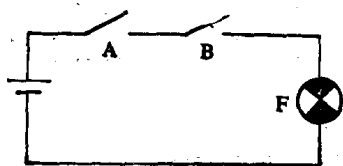


图 1-3 “与”逻辑关系示意图

例如，图 1-3 所示电路中，开关只具有两种状态（通或断），灯也仅有两种状态（亮或灭）。对于这种电路的分析，无非是确定在什么条件下灯点亮或熄灭。这

就是要确定开关与灯所存在的一种条件与结果的逻辑关系。如果用 A 和 B 分别代表两个开关， F 代表灯，那么，此电路的逻辑关系是：若使两个开关 A “与” B 都接通，灯 F 则点亮。换句话说，若要灯 F 亮， A 、 B 两个开关必须满足“与”的逻辑关系。在数字电路中，为了便于表达上述逻辑关系，采用了 1845 年布尔首先提出的“布尔逻辑表达式”，即

$$F = A \cdot B$$

式中符号 $\cdot$ 代表“与”逻辑关系。在书写中也可将符号 $\cdot$ 省去，简写为

$$F = AB$$

由于 F 及 A 、 B 都仅具有两种相互对立的可能状态——亮或灭、通或断，又由于它们所组成的电路表达了事件的因果逻辑关系，故称 F 和 A 、 B 均为逻辑变量。

逻辑变量中的两种对立状态可抽象出来，用符号“0”和“1”来代表。例如，开关接通用“1”表示，那么开关断开就为“0”。同样，灯亮用“1”表示，那么灯灭就为“0”。这样，“0”和“1”就成为两个物理状态的代表，它不是通常的数，而是相互对立的状态。

在上述假定下，当逻辑变量用“0”和“1”代表后，图 1-3 电路所实现的“与”逻辑关系还可采用表格的形式表达，如表 1-1 所示。由于每个条件逻辑变量 A 或 B ，只能取两个值中的

表 1-1 “与”逻辑真值表

A	B	$F = A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

一个（“1”或“0”），因此，两个条件逻辑变量共有四种可能的组合。对应于每种组合，结果逻辑变量 F 都有一个确定的状态。例如，当 A 和 B 均为“0”（开关断开）时， F 为“0”（灯灭）；当 A 为“0”而 B 为“1”时，或者 A 为“1”而 B 为“0”时， F 仍为“0”；只有当 A 和 B 都为“1”时（接通） F 才为“1”（灯亮）。由

于这种表格反映了条件逻辑变量实际值的所有可能组合与结果逻辑变量实际值之间的关系,故把这种表格称为“真值表”。“真值表”和“布尔逻辑表达式”是用不同的形式表达了逻辑关系。

在实际数字电路中,上述“与”逻辑关系是用工作在开关状态下的二极管、或晶体管、或场效应晶体管构成的电路来实现的,这种电路称为“与”门电路。“与”门电路的逻辑符号

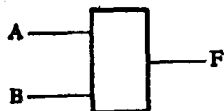


图1-4 “与”门电路逻辑符号 不言而喻,输入逻辑变量是自变量,而输出逻辑变量是因变量。

如图1-4所示。条件逻辑变量在“与”门电路中以输入变量的形式出现,故称为“输入逻辑变量”。结果逻辑变量在“与”门电路中为输出量,故称为“输出逻辑变量”。

4. 数字电路中有哪些基本的逻辑关系?

“与”逻辑关系是数字电路中一种基本的逻辑关系,除此之外,还有“或”、“非”、“与非”和“或非”四种,它们组成了各种数字系统中的基本逻辑关系。

所谓“或”逻辑关系,如图1-5所示。图中 A 、 B 两个开关并联,作为条件逻辑变量。可以看到,此电路实现的逻辑关系是:只要使开关 A “或”开关 B 任一接通,灯 F 就能亮。这就是说,若要求灯 F 亮, A 和 B 两个开关只要满足“或”的逻辑关系即可。

“或”关系的布尔逻辑表达式为:

$$F = A + B$$

式中符号 $+$ 代表“或”逻辑关系。

表1-2 “或”逻辑真值表

A	B	$F = A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

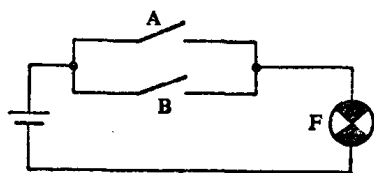


图1-5 “或”逻辑关系示意图

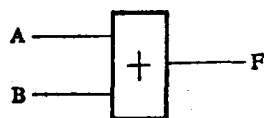


图1-6 “或”门的逻辑符号

若仍用“1”代表开关接通和灯亮，以“0”代表开关断开和灯灭（注意，今后如不另作说明，均采用这种假定），图 1-5 所示的“或”逻辑的真值表如表 1-2 所示。

在数字电路中，实现“或”逻辑的电路称为“或”门，“或”门的逻辑符号如图 1-6 所示。

“非”逻辑的意思是什么呢？这可用图 1-7 来说明。假设图中的硅晶体管工作在开关状态。就是说，当 A 为“0”（即基极为低电平 $0.3V$ ）时，晶体管截止，此时晶体管集电极电位 U_{CE} 接近于电源电压 E_C ，呈高电平，故 F 输出为“1”；当 A 为“1”（即基极为高电平）时，晶体管饱和导通，此时晶体管集电极电位 U_{CE} 接近于 $0V$ ，呈低电平，故 F 输出为“0”。由

于晶体管输出与输入总呈反相状态,故称此电路为“反相器”。就逻辑关系来说,反相器实现了输出与输入呈“反”的关系,在数字电路中,称它为“非”逻辑关系。实现“非”逻辑关系的电路就称为“非”门。

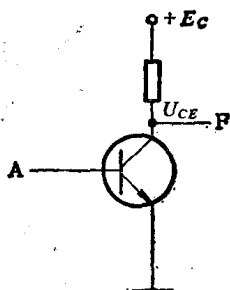


图 1-7 “非”逻辑关系示意图

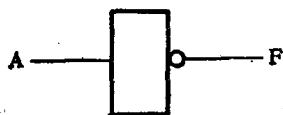


图1-8 “非”门逻辑符号

“非”逻辑关系的布尔表达式为

$$F = \overline{A}$$

式中 A 上方的横线表示“非”。

“非”逻辑关系真值表如表 1-3 所示。非门逻辑符号如图 1-8 所示,其中输出端的小圈代表“非”的意思。

表1-3 “非”逻辑真值表

A	$F = \overline{A}$
0	1
1	0

在数字集成电路中,还有两种基本逻辑关系,这就是“与非”和“或非”,相应的电路就称“与非”门和“或非”门。在

前面的“与”、“或”、“非”三种基本逻辑关系基础上来理解“与非”和“或非”并不困难。

所谓“与非”门可看成是在一个“与”门的输出端再接一个“非”门而形成，如图 1-9 a 所示。“与非”门的实际逻辑符号如图 1-9 b。表 1-4 为“与非”逻辑关系的真值表。

表 1-4 “与非”逻辑真值表

A	B	$F = \overline{A \cdot B}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

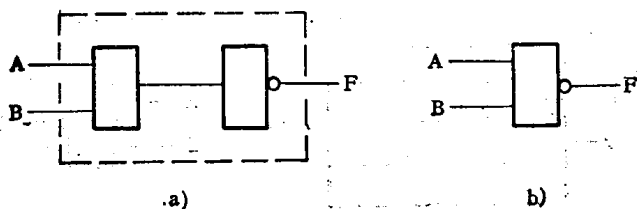


图 1-9 “与非”门逻辑符号

从真值表可看出，“与非”逻辑关系是：当输入逻辑变量 A 和 B 都为“1”时，输出逻辑变量 F 为“0”；输入逻辑变量中有任一个为“0”，输出 F 总为“1”。“与非”逻辑关系布尔表达式为

$$F = \overline{A \cdot B}$$