

数字技术引论

[美] D. I. 波拉特
阿帕德·巴纳 著

机械工业出版社

数 字 技 术 引 论

〔美〕 D. I. 波拉特 著
阿帕德·巴纳

张广蓆 赵文忠 译



机 械 工 业 出 版 社

数字技术引论

Introduction to Digital Techniques

Dan I. Porat, Ph.D.

Arpad Barna, Ph.D.

John Wiley & Sons, 1979

数 字 技 术 引 论

〔美〕 D. I. 波拉特 著
阿帕德·巴纳

张广荃 赵文忠 译

陆培新 校

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $20 \frac{3}{4}$ · 字数 509 千字

1985 年 5 月北京第一版 · 1985 年 5 月北京第一次印刷

印数 0,001—8,100 · 定价 3.25 元

*

统一书号: 15033 · 5727

15033

前 言

最近廿多年（自 1958 年集成电路问世）、特别是最近十多年（自 1971 年微处理机问世）以来，数字技术有了突飞猛进的发展。为了使国内从事数字技术应用的同志们，对数字技术的最新成就有较全面的了解，我们翻译了 D. I. 波拉特，阿帕德·巴纳合著的“数字技术引论”一书（80 年版）以飨读者。

该书是根据两位作者多年的生产和教学实践的经验，为社区学院（即专科学院）和四年制技术学院的教学需要而编写的。全书共分十五章。第一章为模拟技术与数字技术的比较。第二章为各种逻辑系列。第三章为二进制数，包括八进制和十六进制数的算法。第四章为编码。第五、第六章为经典组合逻辑设计和简化方法。第七～九章为触发器，计数器，移位寄存器。第十、第十一章为大规模集成电路和二进制算术运算电路。第十二章为代码转换器和数字显示设备。第十三章为计算机、微型计算机以及程序设计初步。第十四章为模拟量与数字量之间的转换。第十五章为数字系统运行的一些实际问题。原书在取材和论述两方面都比较新颖，而且深入浅出，阐述清晰，较全面而系统的介绍了现有集成电路及其使用方法。对读者基础知识的要求却甚少，只限于晶体管的最基本的知识和初等代数。因此特别适合国内高等专科学校及中等专业学校的学生阅读。对从事数字电路和数字系统设计，制造及维修的工程技术人员也很有参考价值。

本书第 8～14 章由赵文忠译，其余部分由张广荃译。译稿承北京工业大学电子学教研室主任陆培新副教授校订。承蒙他的出色的工作，使译文趋于完善，谨此致谢。

由于我们水平有限，译文错误在所难免，切望读者批评指正。

译者

1983 年 7 月

原 序

数字电子学已经渗透到人类活动的许多不同领域。从前靠模拟方法来实现其工作的领域中，已经增加了更为有效而经济的数字方法，或者为之所取代。

本教科书意在把数字技术介绍给电子学或计算机学科的学生；着重于现有的集成电路和它们的用法。本书主要是为了满足社区学院和四年制技术学院的教学需要，也可用于自学。对预备知识的要求是最低的：即熟悉初等代数和有关晶体管电路的基本知识。

和其它教科书相比，本书在下述几个方面：TTL，ECL 和 CMOS 逻辑系列；数字系统；代码和代码转换；各种类型触发器的详细的工作情况；波纹和同步计数器；MSI 和 LSI 电路；数字-模拟和模拟-数字的转换提供了全新的处理方法。用一章专门介绍了电子计算机和微型电子计算机的工作原理和结构。本书汲取了我们多年从事教学和技术工作所取得的经验，因此特别适合于那些从事或者准备从事设计、制造和调试数字电路和数字系统的人。

每一章（除第一章导言外）都有教学目的，自我检查题和习题。新概念运用适当的例题和图表来加深理解。本书包括 192 道自我检查题，215 个例题，262 道习题，384 幅插图和 51 张表格。

第一章是模拟和数字技术的比较。第二章介绍各种逻辑系列，如 TTL，ECL 和 CMOS。二进制运算在第三章学习，这一章还包括八进制数和十六进制数。第四章讨论编码，为学生了解二进制和其它编码作准备。传统的组合逻辑设计，包括简化方法在第五、第六章论述。随后叙述触发器（第七章），计数器（第八章），移位寄存器和移位计数器（第九章）。第十章介绍对数字技术产生了深刻影响的大规模集成电路。

第十一章详细论述以第三章介绍的二进制运算为基础的二进制运算电路，这些电路是数字技术的重点。第十二章介绍代码转换器和数字显示器。电子计算机和微型电子计算机，包括程序设计入门在第十三章论述。模拟、数字之间的相互转换在第十四章介绍。第十五章讨论数字系统实践方面的一些问题。

第二至第十章提供了基本原理，并且可以按照课文的顺序讲授。但是叙述数基变换，余 3 码，字母数字代码的几节，可以推迟到第十二章之后学习。第十一章至第十五章可以作为应用材料，按照教师的选择方案选修。

非必读材料打了星号。书末附有单数号习题的答案。双数号习题的题解，由任教者给出。

我们感谢责任编辑欧文·凯瑟博士（Dr. Irving Kosow）和韦利出版社的生产管理人员琳达·塞达夫尼克（Linda Sadovnick）。由于他们极好的协作，使本书得以早日完工。也应感谢那些评论者，他们提出的宝贵意见有益于本教材的改进。

Dan I. Porat

Arpad Barna

目 录

第一章 展望	1	5-5 布尔代数定理	72
1-1 引言	1	5-6 组合逻辑电路的分析与综合	76
1-2 集成电路	2	5-7 标准形式	78
第二章 逻辑电路	4	5-8 卡诺图	79
2-1 应用开关的逻辑电路	5	小结	86
2-2 应用继电器的逻辑电路	6	习题	86
2-3 应用二极管的门电路	9	第六章 组合逻辑电路	88
2-4 二极管-晶体管逻辑 (DTL)	12	6-1 复合逻辑算子	88
2-5 晶体管-晶体管逻辑 (TTL)	17	6-2 正逻辑和负逻辑	93
2-6 射极耦合逻辑 (ECL)	21	6-3 两级与非逻辑电路	95
*2-7 集成注入逻辑 (I ² L)	25	6-4 两级或非逻辑电路	96
2-8 MOS 逻辑	26	6-5 与或非 (AOI) 门	97
2-9 互补 MOS (CMOS) 逻辑	28	6-6 数字多路转换器	99
小结	35	6-7 译码器	102
习题	35	6-8 优先权编码器	105
第三章 数制	38	小结	106
3-1 十进制数	38	习题	106
3-2 二进制数	39	第七章 触发器 (FF)	108
3-3 八进制和十六进制	41	7-1 引言	108
3-4 数基之间的变换	43	7-2 R-S 存储触发器	109
3-5 负数	47	7-3 钟控 R-S 触发器	114
小结	51	7-4 钟控触发器的状态表和功能表	115
习题	51	7-5 钟控 D 触发器	116
第四章 编码	53	7-6 钟控触发器用作存储器	117
4-1 编码的必要性	53	7-7 主-从 R-S 触发器和主-从 D 触发器	117
4-2 二-十进制 (BCD) 数	54	7-8 具有数据锁定的主-从触发器	119
4-3 单位距离码	57	7-9 边沿触发的触发器	122
4-4 检错码	60	7-10 J-K 触发器	123
4-5 字母数字代码	62	7-11 T 触发器	124
小结	65	7-12 直接预置和消除输入	125
习题	65	7-13 定时特性	126
第五章 布尔代数和化简方法	67	小结	129
5-1 布尔代数	67	习题	130
5-2 真值表	68	第八章 计数器	131
5-3 逻辑算子	70	8-1 引言	131
5-4 布尔代数公理	71	8-2 二分频计数器	131

8-3 行波计数器.....133	12-4 格雷码到二进制码转换器230
8-4 一位计数器.....141	12-5 二进制到BCD转换器.....231
8-5 状态图.....143	12-6 BCD到二进制转换器234
8-6 同步计数器.....144	12-7 显示译码器和驱动器237
8-7 混合计数器.....169	小结241
小结170	习题241
习题170	第十三章 计算机和微型计算机243
第九章 移位寄存器和移位寄存器型计数器.....172	13-1 引言243
9-1 引言.....172	13-2 基本特性243
9-2 移位寄存器.....173	13-3 基本结构244
9-3 移位寄存器型计数器.....178	13-4 程序设计技术基础246
9-4 工作速度.....186	13-5 输入和输出 (I/O)250
小结186	13-6 主存储器254
习题186	13-7 控制单元257
第十章 大规模集成电路 (LSI)188	小结260
10-1 引言188	习题260
10-2 动态 MOS 反相器和逻辑门189	第十四章 数-模和模-数转换器.....261
10-3 MOS 移位寄存器.....191	14-1 引言262
10-4 随机存取存储器 (RAM)195	14-2 数-模转换器.....262
10-5 只读存储器 (ROM)202	14-3 运算放大器266
10-6 可程序逻辑阵列 (PLA)205	14-4 用于 DAC 的电流开关269
*10-7 内容定址存储器 (CAM)208	14-5 使用梯形网络的数-模转换器.....270
*10-8 先进先出存储器 (FIFO).....209	14-6 采用四重电流源的 DAC.....271
10-9 电荷耦合器件 (CCD)210	14-7 乘法 DAC.....273
10-10 磁泡存储器 (MBM)212	14-8 DAC 参数的测量.....273
小结214	14-9 模-数转换器.....274
习题214	14-10 ADC 的电路单元275
第十一章 运算电路216	14-11 计数器斜坡型 ADC281
11-1 引言216	14-12 跟踪型 ADC282
11-2 数字比较器217	14-13 逐次逼近型 ADC283
11-3 加法器220	14-14 并行 ADC284
11-4 减法器223	小结285
11-5 运算逻辑单元 (ALU)223	习题285
11-6 乘法器223	第十五章 系统的运行.....287
小结224	15-1 引言288
习题224	15-2 容许偏差, 噪音容限, 负载规则288
第十二章 码制转换器和显示器件226	15-3 电源配置289
12-1 引言227	15-4 接地290
12-2 余3格雷码到8-4-2-1 BCD 码转换器227	15-5 施密特触发电路294
12-3 二进制码到格雷码转换器229	15-6 单稳态多谐振荡器296
	15-7 故障寻迹设备300
	小结303
	习题304

第一章 展 望

1-1 引 言

电子系统是一种为了完成一定任务由相互制约的电子积木式部件所组成的有序集。数字电子系统是处理离散量的电子设备。离散量是现实生活中表示比如温度、压力或距离这样一些物理量，精确到最低有效位而得到的整数、小数或混合数。与此相反，模拟电子系统则采用连续标度来表示这些物理量。

很多测量结果既可以用数字形式也可以用模拟形式表示。例如，若干世纪以来，时间一直用模拟形式表示：时钟的长针和短针所对的角度令人满意地提供了有关时间的全部数据。为了提高时间的分辨率，增加了秒针。这种时间表示法表示在图 1-1 a 中，大家都知道，图中表示的时间是 2 时 30 分 55 秒。最近几年来，已经研制出一种测量并显示时间的全新方法。这种方法基于石英晶体的振荡频率，石英晶体连同数字电路和数字显示技术一起，把时间用数字显示出来，如图 1-1 b 所示。

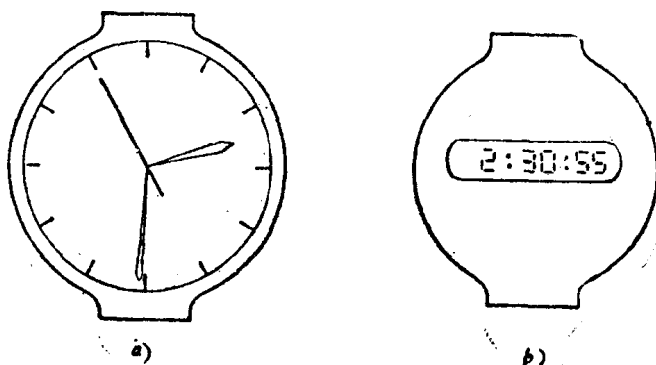


图1-1 时间表示法
a) 模拟形式 b) 数字形式

信息的数字处理在近十年内已经十分流行：除了数字表、数字钟和计算器外，还有一大批数字控制器（微型计算机）用于家用电器和汽车上。

在数字电子系统中，信息用二进制数位、比特 (bit) 表示。比特可以取两个数值：0 或 1 中的任意一个。只采用两个数字的数制叫二进制；二进制的基础是英国数学家乔治·布尔 (1815-64) 在他的著名论文“思维规律的研究” (1854) 一文中奠定的。这种理论是建立在以二进制数 1 表示的“真”和以二进制数 0 表示的“假”的概念上。而真正应用于实际，则在八十四年后 C. E. 香农 (C. E. Shannon) 根据布尔代数提出开关理论的时候。本世三十年代后期，电话网络的交换设备由继电器组成，并运用开关理论进行设计。布尔代数成功地用于开关网络的分析，这是数字信息处理的重大突破。

在大型开关网络中运用布尔代数旨在减少网络元件（继电器）而不影响其功能。因为使元件减至最少，对于网络的成本、体积、功耗和可靠性是至为重要的。

上述使元件减至最少的简化准则，同样适应于用电子管组成的数字系统。例如，最早的计算机，宾夕法尼亚的电子数字积分计算机 (ENIAC) 所用的电子管多达 18000 个。由于电子管的寿命有限，结果使得这台计算机的统计平均稳定时间是短暂的。

巴亭 (Bardeen)、布拉顿 (Brattain) 和沙克利 (Shockley) 等人发明了晶体管，这一

发明标帜着数字信息处理的又一个重要的突破。晶体管和继电器或电子管相比,其体积和功耗都只有百分之一。晶体管也给集成电路的研制提供了工艺基础。集成电路是一种由许多晶体管相互连接,能够完成特定功能的电路单元。

1-2 集 成 电 路

第一块集成电路是1958年研制出来的。集成电路研制的成功是电子设备结构工艺革命性变革的一个起点。三年以前还没有应用集成电路的领域,今天大约已有50%使用了集成电路。

半导体工艺发展的初期,把元件分为分立的和集成的两类。数字集成电路由做在一块半导体基片上的一些晶体管和若干无源元件(电阻和电容器)组成,这些元件内联在一起去完成一种逻辑运算。能够完成简单逻辑运算的这些逻辑功能元件是构成开关网络的积木式元件。半导体工艺的进一步发展,使很多晶体管可以作在一块半导体基片上。从而扩大了组件内封装的电路规模,使其复杂程度增加了。这种新型电路能够计数,执行两个二进制数字的加、减或乘法运算,比较它们的二进制值,以及实现更为复杂的逻辑运算。

科学家和工程师在从事晶体管制造工艺的发展中遇到了与复杂程度的提高接踵而来的工艺要求。在半导体基片上的每个元件的尺寸要进一步缩小,而功耗也必须相应地降低。将几十万个晶体管作在一块基片上是可以实现的,目前的实际限制主要是与“外界”相联的输入、输出引线的数量,而不是基片上的晶体管的数量和复杂程度。

因此,今天我们根据复杂程度,把集成电路分为三个等级:(1)小规模集成(SSI) 这是一种只能完成很少的几种简单逻辑功能的电路;(2)中规模集成(MSI) 具有相当于12到100种逻辑功能的能力,通过适当的互联,可以扩大其功能,其潜力是很大的;(3)大规模集成(LSI) 复杂程度最高。

数字电路已广泛应用于数据存储,医疗器械,过程控制,计算器和计算机,空中交通,数字通讯以及语言与音调的合成等这样一些不同的领域。数字技术亦已开始用于传统上使用模拟技术的领域。例如,假定我们想要把生产设备中的温度信息从A点传送到B点,并假设传送的信息是和温度成正比的模拟电压。传送介质可以是电缆或调制后的无线电波。不论用何种方式都会因受到干扰而影响传送的信息内容。假使我们要求的精度是 $1/1000$,那么为了满足精度要求,干扰必须保持在传送量(模拟量)的 $1/1000$ 以下。这在工业环境中是难于实现的,因为那里有电动机、电弧焊、继电器等产生的强大的电干扰(噪声)。

另一方面,上述与温度有关的信息可以用数字形式传输。这种数字传输采用二进制,传送的信息以经过适当编码的脉冲序列表示。在这里,我们关心的仅仅是在一定时间间隔内,脉冲是否持续或截止。使脉冲持续或截止发生变化的环境干扰必须相当强,才能改变传输信息的内容。因此数字系统比起模拟系统来,更不受干扰的影响。因而很多使用模拟系统不适宜的场合,采用数字系统是比较合适的。

此外,数字系统的功耗也往往低于模拟系统。随着体积和功耗的减少,新型半导体装置的运行速度有了显著提高。要全面地估计由于晶体管的发明以及后来的集成电路的研制而引起的革命性变革,往往是十分困难的。例如早期的大型计算机的体积有几百立方米,并且需要好几十千瓦的电功率和相当大的空调设备用以消散热量,以使室温不致上升到无法忍受的

程度。今天流行的具有相似运算能力的台式电子计算机消耗的功率只有前者的百分之一。此外，许多比较简单的工作，比如交通信号灯、销售终端和家用电器的控制，现在正借助于微型计算机。微型计算机的体积远小于一个立方米的几分之一，而功耗不到 10 W。

各种性能不同的开关元件的效率可以定量地加以描述：如果一个元件从一种状态转移到另一种状态（导通到截止或者相反）的时间越短，那么在给定时间内完成的运算次数就越多，因此效率越高。高效率的元件，一般功耗也较小。所以功耗与开关时间的乘积 $P \times t$ 是衡量开关元件效率的一个令人满意的指标：乘积越小，效率越高。就继电器而言，其开关速度为 $1/100 \text{ s}$ ，而功耗的典型值是 0.25 W ，乘积 $P \times t = 0.25 \times 1/100 \text{ W} \times \text{s} = 0.0025 \text{ W} \times \text{s}$ 。为了和其他开关元件进行比较，我们把它以 $\text{W} \times \mu\text{s}$ 表示，相应的量值是 $2500 \text{ W} \times \mu\text{s}$ 。平均功耗为 2 W 的电子管，较好的开关时间是 $0.1 \mu\text{s}$ ，乘积 $P \times t = 2 \times 0.1 \text{ W} \times \mu\text{s} = 0.2 \text{ W} \times \mu\text{s}$ 。比继电器效率高 12500 倍。

就标准集成电路而论，其开关速度为 $10 \text{ ns} = 0.01 \mu\text{s}$ ，而功耗为 0.25 mW ，乘积 $P \times t = 0.00025 \text{ W} \times 0.01 \mu\text{s} = 0.0000025 \text{ W} \times \mu\text{s}$ ，比电子管效率高 80000 倍。

因此新技术确实是一个巨大的突破，它促使数字技术在许多目前大家都关心的领域内的应用得以迅速扩大。

第二章 逻辑电路

教学目的

本章叙述各种逻辑电路和它们的功能。在专门叙述用开关和继电器构成的逻辑电路的简短几节之后，我们叙述了用二极管和三极管构成的逻辑门元件。在你学完本章后，应能：

1. 分析用开关和继电器构成的逻辑电路的功能。
2. 用真值表描述逻辑电路的功能。
3. 按照电路图描述逻辑门的内部结构。
4. 比较各种逻辑系列的性能：二极管门，二极管-三极管逻辑（DTL），三极管-三极管逻辑（TTL），射极耦合逻辑（ECL），集成注入逻辑（I²L），金属氧化物硅（MOS）逻辑和互补MOS（CMOS）逻辑。
5. 用DTL，TTL，ECL或者CMOS门设计线或逻辑电路。
6. 求逻辑门的电阻性负载和电容性负载的负载效应。

自我检查题

下列问题将帮助你估计对本章的理解程度。当你学习有关资料时，注意问题的答案。学完本章后，返回这一节来回答这些问题。

1. 什么是真值表？
2. 画出一个常开和两个常闭触头的继电器示意图。
3. 画出三输入二极管与门的电路图。
4. 画出三输入二极管或门的电路图。
5. 描述二极管门电路的电阻性负载效应。
6. 解释名词“传输延时”。
7. 什么是传输特性？
8. 什么是阈（门槛）电压的定义？
9. 什么是与非门？
10. 什么是或非门？
11. 画出线或DTL电路示意图并描述其功能。
12. 描述DTL门的电阻性负载效应。
13. 比较标准TTL，低功耗TTL，高速TTL，肖特基TTL以及低功耗肖特基TTL的性能。
14. 描述TTL门的电阻性负载效应。
15. 描述TTL门的电容性负载效应。
16. 画出TTL与或非门的电路图。
17. 画出3态TTL反相器电路图。
18. 画出电流开关对，并阐述其功能。
19. 阐述线或电路中的多端输出ECL门的功能。

- *20. 画出 I^2L 电路。
21. 画出 n 沟道 MOS 晶体管的 2 输入与非门。
22. 画出无缓冲器和有缓冲器的 CMOS 逻辑反相器的电路图。
23. 画出 CMOS 双向传输门的电路图和符号。
24. 比较无缓冲器和有缓冲器的 CMOS 逻辑反相器在各种负载电容时的传输延时。
25. 解释名词：渡越时间，上升时间和下降时间。
26. 详述 CMOS 逻辑门的交流功耗。

2-1 应用开关的逻辑电路

这一节举例说明开关在简单逻辑电路中的应用，并用真值表描述这些电路的工作情况。

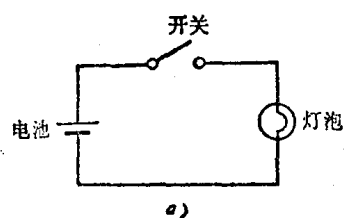
2-1.1 最简电路

图 2-1 a 是由一个电池、一个开关和一个灯泡组成的简单逻辑电路。当开关断开时，灯泡熄灭；开关闭合时，灯泡就亮。这一关系表示在图 2-1 b 的真值表中。表的左列列举了开关的两种可能的组合状态，而右列列举了灯泡的对应状态。

2-1.2 与电路

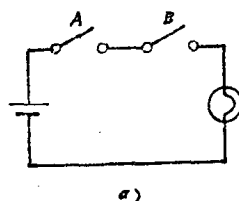
图 2-2 a 是由一个电池，两个开关和一个灯泡组成的逻辑电路。这一电路只有在开关 A 和开关 B 都闭合时，灯泡才能亮，因此称为与电路。其逻辑关系也表示在图 2-2 b 的真值表中。真值表左边两列列的是开关位置（状态）四种可能的组合，而最右边的一列是灯泡的对应状态。

逻辑电路中串联的开关多于两个时，其逻辑功能同样可以用真值表来描述。



b)

开 关	灯
断 开	灭
闭 合	亮



b)

开关 A	开关 B	灯
断开	断开	灭
断开	闭合	灭
闭合	断开	灭
闭合	闭合	亮

图2-1 由一个电池，一个开关

和一个灯泡组成的电路

a) 电路 b) 真值表

图2-2 用开关的与电路

a) 电路图 b) 真值表

例2-1 列出图 2-3 a 电路的真值表。

解 真值表如图 2-3 b 所示。真值表由四列八行组成。我们可以看到，只有开关 A、B 和 C 都闭合时，灯泡才能亮。因此图 2-3 a 的逻辑电路是一个与电路。

2-1.3 或电路

图 2-4 a 是由一个电池，两个并联开关和一个灯泡所组成的逻辑电路。当开关 A 和 B 两者之一，或两者都闭合时，灯泡便亮。因此这一电路称为或电路。其逻辑关系如图 2-4 b 的真值表所示。

和串联开关电路一样，并联开关多于两个的电路同样也可以用真值表来描述（参阅习题 2-2）。

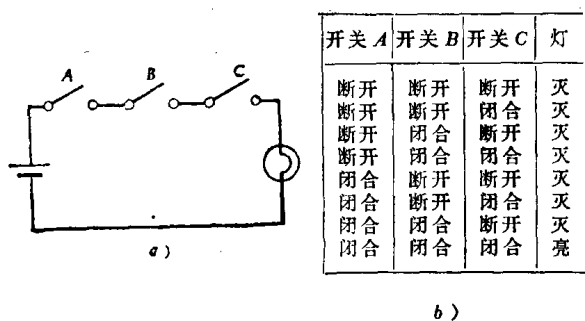


图2-3 用三个开关组成的与电路

a) 电路图 b) 真值表

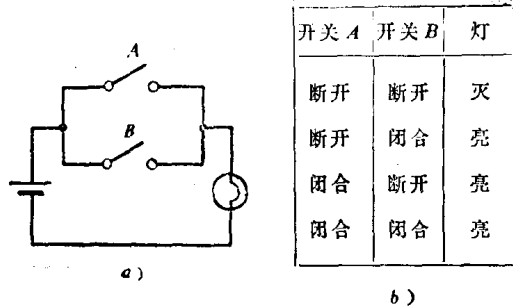


图2-4 用开关的或电路

a) 电路图 b) 真值表

2-1.4 其它电路

用开关构成的逻辑电路不只是与电路和或电路。例如，图 2-5 a 表示的由一个电池，两个双位开关，和一个灯泡组成的电路是建筑物中常见的一种电路。安装在不同地点的两个开关共同控制一个电灯，改变任一开关的状态就改变了电灯的状态。电路的逻辑功能也可以用图 2-5 b 的真值表描述。

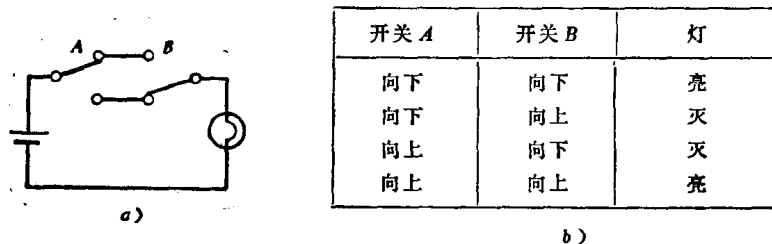


图2-5 由一个电池，两个双位开关和一个灯泡组成的电路

a) 电路图 b) 真值表

2-2 应用继电器的逻辑电路

这一节叙述继电器的动作并举例说明它们在逻辑电路中的作用。

2-2.1 基本动作

继电器的动作可用图 2-6 a 来加以说明。当电流流过线圈时，其磁场吸引铁芯，使常开 (n.o.) 触头闭合。当线圈断电时，将铁芯释放，弹簧使触头复位为断开状态。图 2-6 b 和 2-6 c 为常用的两种继电器符号。本书采用图 2-6 b 的符号。

图 2-7 表示应用常开 (n.o.) 触头的继电器的动作：继电器断电 (未激磁) 时，触头断开；继电器通电 (已激磁) 时，触头闭合。图 2-8 表

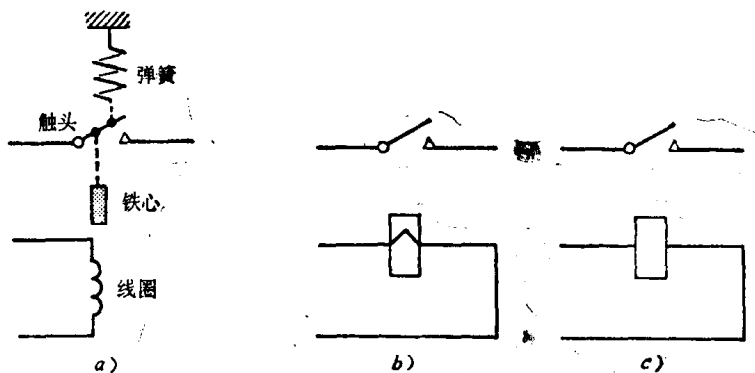


图2-6 继电器

a) 图解表示 b) 符号 c) 符号

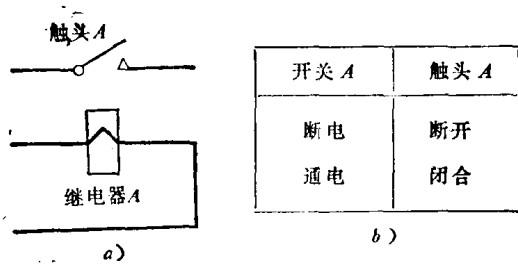


图2-7 具有一个常开触头的继电器

a) 电路图 b) 真值表

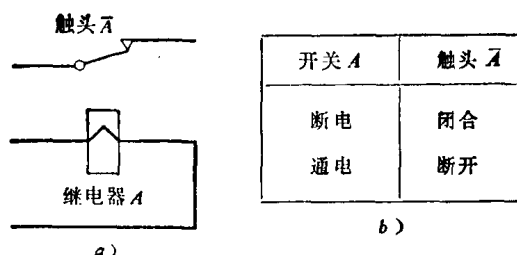


图2-8 具有一个常闭触头的继电器

a) 电路图 b) 真值表

示应用常闭 (n.c.) 触头的继电器的动作：当继电器断电时，触头闭合；通电时，触头断开。

继电器可以兼有常开和常闭触头，如图 2-9 a 所示。该图所示的电路由继电器 A，两个标以 A 的常开 (n.o.) 触头和一个标以 $\bar{A}$ 的常闭 (n.c.) 触头组成。图 2-9 b 所示真值表是图 2-7 b 及图 2-8 b 的两个真值表的组合。

继电器的一种简单应用示于图 2-10 a，图中的继电器 A 由开关 S 来控制——当大功率的设备由小功率的开关来操纵时，这种应用方式是相当普遍的。这一电路的工作情况可以用图 2-10 b 的真值表加以概括。当开关 S 断开时，继电器 A 断电：两个触头 A 断开而触头 $\bar{A}$ 闭合。当开关 S 闭合时，继电器 A 通电，触头 A 闭合而触头 $\bar{A}$ 断开。

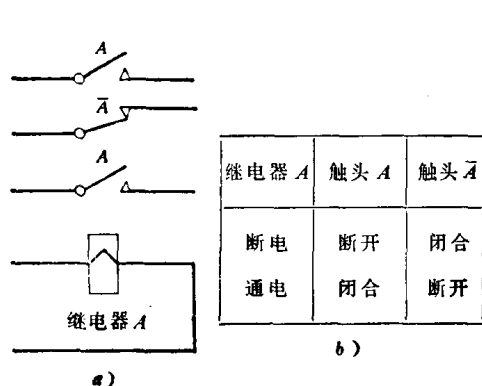


图2-9 具有两个常开触头和一个常闭触头的继电器

a) 电路图 b) 真值表

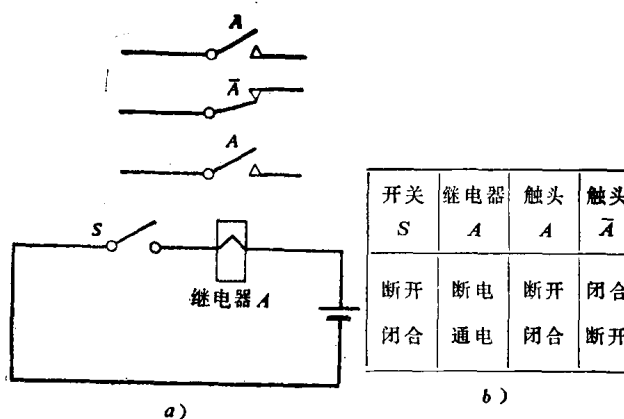


图2-10 由一个电池，一个开关和一个继电器组成的电路

a) 电路图 b) 真值表

图 2-11 a 是一种使用两个继电器的电路，当开关 S 断开时，继电器 A 断电，触头 A 断开，继电器 B 断电。当开关 S 闭合时，继电器 A 通电，触头 A 闭合，使继电器 B 通电。触头 B 的用途在图中没有表示出来。电路的工作情况概括在图 2-11 b 的真值表中。如果我们关心的只是继电器的状态，可以采用图 2-11 c 的简化真值表。

图 2-12 a 是使用两个继电器的另一种电路。在这一电路中，当开关 S 断开时，继电器 A 断电，但触头 $\bar{A}$ 是闭合的，因此继电器 B 接通。同样，当开关 S 闭合时，继电器 A 接通，因而触头 $\bar{A}$ 断开，继电器 B 断电。这一电路的工作情况概述于图 2-12 b 的真值表中。如果我们只关心继电器的状态，可以采用图 2-12 b 的简化真值表。表中只表明了继电器的状态。

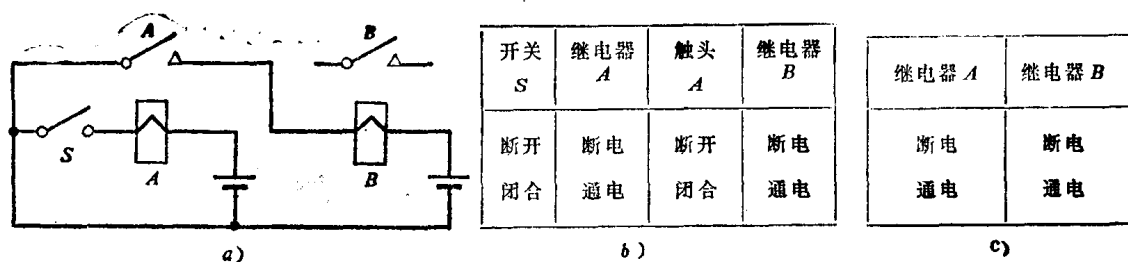


图2-11 具有两个继电器的电路

a) 电路图 b) 真值表 c) 简化真值表

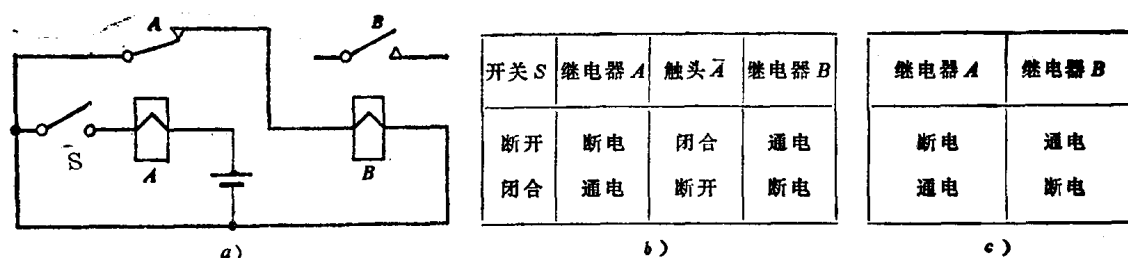


图2-12 具有两个继电器的电路

a) 电路图 b) 真值表 c) 简化真值表

2-2.2 与电路

图 2-13 a 是一种应用三个继电器的逻辑电路，图中没有表明继电器 A 和 B 的接法以及继电器 C 的用途。只有继电器 A 和 B 都接通时，继电器 C 才导通，因此这种电路称为与电路。其逻辑关系也表示在图 2-13 b 的真值表中。

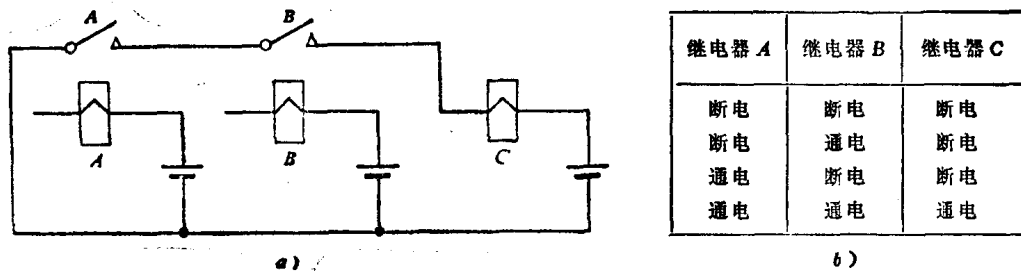


图2-13 应用继电器的与电路

a) 电路图 b) 真值表

2-2.3 或电路

图 2-14 a 是一种应用三个继电器的逻辑电路。图中没有表明继电器 A 和 B 的接法以及继电器 C 的用途。当继电器 A 或者继电器 B 导通，或者两者都导通时，继电器 C 导通；因此这种电路叫做或电路。其逻辑关系同样用真值表表示在图 2-14 b 中。

2-2.4 其它电路

继电器除了用于上述的简单逻辑电路外，还在诸如摩托车，自动升降机，电话交换机等

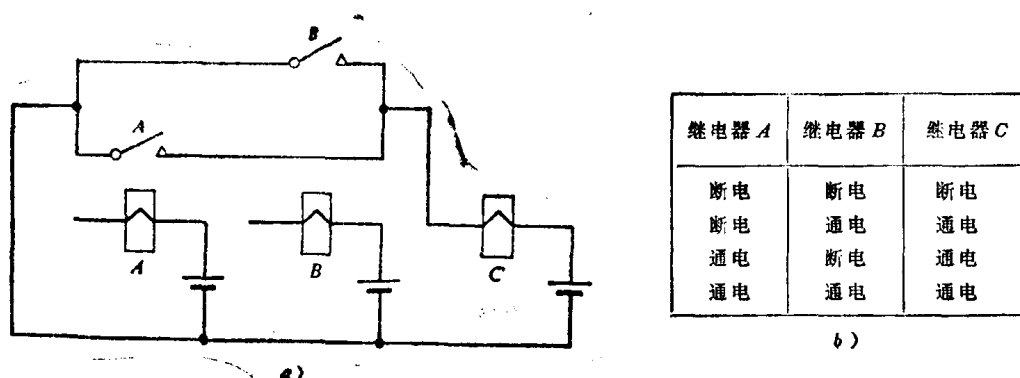


图2-14 应用继电器的或电路

a) 电路图 b) 真值表

等各种实际应用中使用。尽管结构简单，工作稳定，但是这种电动机械类型的继电器在应用方面仍有其局限性。由于触头的磨损，金属的疲劳以及其它机械方面的缺陷，工作寿命是有限的。另一个缺点是在作数字逻辑运算时，其工作速度较低，典型值在 $1\sim 10\text{ms}$ 之间。

继电器存在的这些缺陷被逻辑门所克服，因为电子器件没有活动部分。逻辑门可以完成和继电器一样的逻辑运算，但速度一般比继电器快一千到一百万倍。而且，由于没有活动部分，可靠性优于继电器。各种逻辑门的结构和功能在本章余下的部分叙述。

2-3 应用二极管的门电路

本节叙述用二极管构成的逻辑门元件和它们的功能。

2-3.1 与门

图 2-15 a 表示的是 2 输入二极管与门。电路的工作情况由图 2-15 b 真值表描述：只有两个输入 IN_1 和 IN_2 都是 $+5\text{V}$ 时，输出才是 $+5\text{V}$ ，因此称为与门。

当两个输入端 IN_1 和 IN_2 的电压均为 0V 时（真值表第一行），与 $+5\text{V}$ 电源相连的 $5\text{k}\Omega$ 电阻中有电流流过，在输出端形成了一个与二极管正向压降相等的电压：硅二极管有 0.7V 的正向压降，所以输出为 0.7V 。

当 IN_1 接 0V 电压，而 IN_2 接 $+5\text{V}$ 电压（真值表第二行）时，上面的二极管正偏（导通），

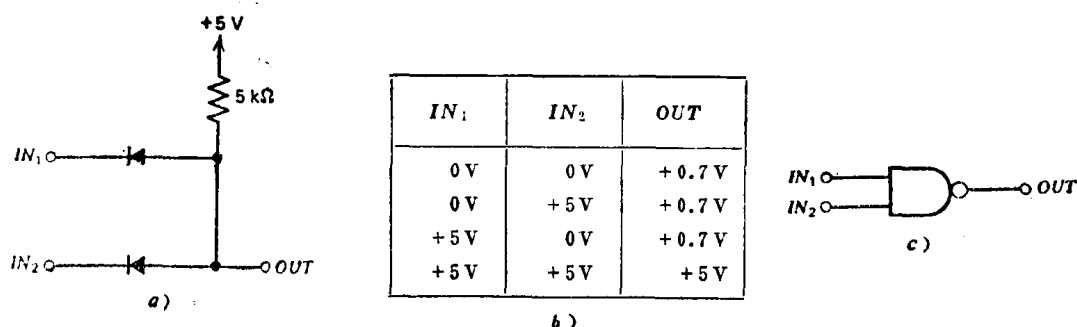


图2-15 2输入二极管与门

a) 电路图 b) 真值表 c) 符号

输出电压为 0.7 V 。下面的二极管被反向电压 $5\text{ V} - 0.7\text{ V} = 4.3\text{ V}$ 所反偏——二极管截止。

真值表第三行的情况与第二行相似，但是两个二极管的作用颠倒了。注意，导通二极管决定了输出的状态。

在真值表的最末一行中，两个输入端 IN_1 和 IN_2 都接 $+5\text{ V}$ 电压，二极管均截止，没有电流流过 $5\text{ k}\Omega$ 电阻。因此输出经 $5\text{ k}\Omega$ 电阻上拉至 $+5\text{ V}$ 。

2 输入与门的逻辑符号如图 2-15 c 所示。注意逻辑符号没有示出门与 $+5\text{ V}$ 的连接。

二极管门的输入端也可以多于两个，如下例所述。

例2-2 扩展图 2-15 的二极管门电路、真值表和符号，使之成为 3 输入。

解 3 输入二极管与门电路，真值表和符号示于图 2-16 中

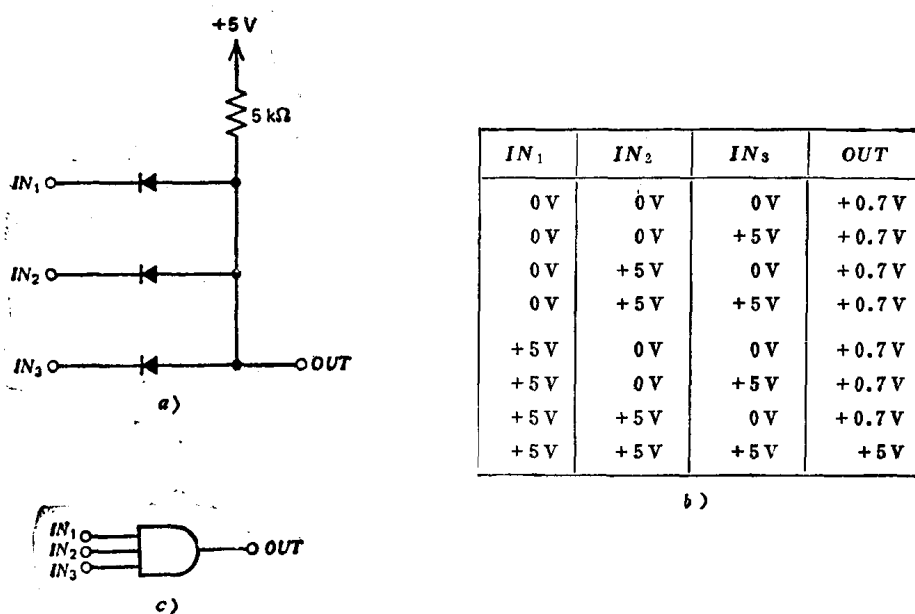


图2-16 3 输入二极管与门

a) 电路图 b) 真值表 c) 符号

2-3.2 或门

图 2-17 a 所示为 2 输入二极管或门。电路的工作情况表示在图 2-17 b 的真值表中：当输入 IN_1 或 IN_2 或两者都为 $+5\text{ V}$ 时，输出为 4.3 V ，所以称为或门

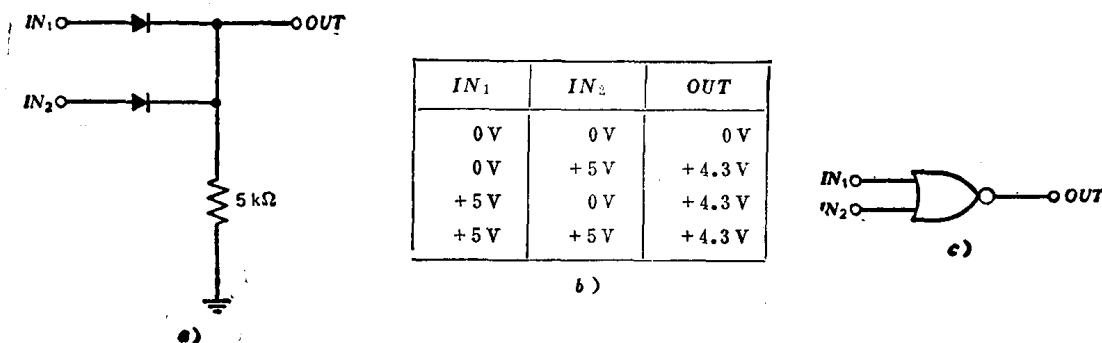


图2-17 2 输入二极管或门

a) 电路图 b) 真值表 c) 符号