

数 字 技 术 导 论

[美] D. I. 波拉特 著
阿帕德·巴纳

辛 俭 译

数字技术导论

[美] D. I. 波拉特 著
阿帕德·巴纳
辛 俭 译

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

浙江舟山地区印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 25 字数 550,000

1981年10月第1版 1982年10月第1次印刷

印数 00,001—11,500

书号 15012·0368 定价 2.60 元

译者 的话

“Introduction to Digital Techniques”(“数字技术导论”)一书是美国D·I·波拉特(Dan I. Porat)和阿帕德·巴纳(Arpad Barna)合写的一本教科书,于1979年出版。此书实际上是他们1973年所著“Integrated Circuits in Digital Electronics”一书的修订版。修订版更突出了中、大规模集成电路的应用,适当减少了小规模逻辑设计的篇幅。

本书以讲清基本概念、阐述电路分析和综合的指导思想为主,文字简练、重点突出。为了加强学生对概念的理解,辅之以适量的例题(全书共有215道例题,为与正文相区别,在译文中用小号字体排出),内容选择也较适当。全书内容安排上,与我国无线电技术类专业的数字电路课程大体上一致,适合于有关专业师生参考。该书对从事数字电路工作的技术人员也有一定参考价值。具有初等代数和晶体管电路知识的人便可阅读,因此也适于自学。

在翻译过程中,更正了一些印刷上的错误,并在有关之处加了脚注。书中涉及的专业名词术语、器件名称,尽可能按我国国家标准及第四机械工业部颁标准译出;无规可循的,则按我国惯例译出。为便于读者查阅,译出了原书末的词汇表。

限于译者水平,难免有不妥及错误之处,恳请读者批评指正。

译者

1980年12月

前 言

数字电子学已经渗透到人类活动的各个领域。以前用模拟方法进行的各种工作现在则被采用数字技术的更为有效而且经济的方法所扩充和取代。

这本教科书的目的是向电子学或者计算机科学专业的学生介绍数字技术,着重介绍现成的集成电路及其使用方法。本书主要为满足普通专科学院和四年制技术院校教学的需要而编写的,同时也适于自学。本书的学习只需用很少的预备知识,如掌握晶体管电路的最基本知识 and 精通初等代数等。

和其他的教科书相比,本书在下列几方面做了充分的最新论述: TTL、ECL 和 CMOS 等逻辑系列,数制、各种代码和代码变换器,各种触发器的详细工作原理,异步和同步计数器,中规模 and 大规模集成电路以及数字-模拟和模拟-数字转换器。还有一章专门介绍计算机和微型计算机的结构和工作原理。本书是根据我们多年来在生产 and 教学实践中的经验编写的,因而对那些已从事或者将要从事数字电路和数字系统的设计、制造及维修的人来说是特别适用的。

每章(除第一章绪论之外)都附有教学目的、自我检查题和习题。新的概念用一些例子以及在适当的地方加图表来说明,以加深理解。本书有192道自我检查题、215个例题、263道习题、384幅图和51张表。

第一章对模拟技术和数字技术进行了比较。第二章介绍了各种逻辑系列:如TTL、ECL和CMOS逻辑系列。第三章研究二进制数的算法,还包括介绍八进制和十六进制数。第四章介绍了编码,为学生学习后面的章节所要用到的二-十进制码以及其他的代码做好准备。第五章和第六章论述经典的组合逻辑设计以及简化方法。以下各章分别讲述触发器(第七章)、计数器(第八章)、移位寄存器和移位寄存器式计数器(第九章)。第十章讲述大规模集成电路——它在数字技术方面引起了一场变革。

第十一章讨论二进制的算术运算电路,它是以在第三章中已介绍过的二进制算法和在本章前学到的数字技术为基础的。第十二章介绍代码变换器和数字显示设备。第十三章讲述计算机、微型计算机以及程序设计技术初步。第十四章介绍模拟量和数字量之间的转换。第十五章讨论数字系统的一些实际问题。

第二章到第十章讲述一些基础知识,可按在本教科书中出现的顺序进行教学,而其中数制变换、余3代码和字符代码等章节可推迟到学习第十二章时再讲。第十一章到第十五章是属于应用方面的内容,因此可根据讲授的需要加以选用。

选学的内容用‘*’号标志。新术语的注释和奇数号习题的解答在书末给出。偶数号习题的题解另有手册可供任课教师使用。

我们感谢这套丛书的编辑欧文·科索(Irving Kosow)博士和威利(Wiley)图书公司的出版

发行负责人琳达·萨多夫尼克(Linda Sadovnick)先生。由于他们真诚的合作,使本书得以这样快地完成。同时也感谢各位评论家、批评家,他们的宝贵意见使本书得以改进。

D·I·波拉特(Dan I. Porat)

阿帕德·巴纳(Arpad Barna)

目 录

第一章 绪论 1	
1-1 引言..... 1	
1-2 集成电路..... 2	
第二章 逻辑电路 4	
2-1 开关逻辑电路..... 5	
2-2 继电器逻辑电路..... 7	
2-3 二极管逻辑电路..... 10	
2-4 二极管-晶体管逻辑电路 (DTL)..... 13	
2-5 晶体管-晶体管逻辑电路 (TTL)..... 18	
2-6 发射极耦合逻辑电路 (ECL)..... 23	
*2-7 集成注入逻辑电路 (I ² L)..... 27	
2-8 金属-氧化物-半导体场效应晶体管 (MOS) 逻辑电路..... 29	
2-9 互补 MOS (CMOS) 逻辑电路..... 31	
小结..... 39	
习题..... 40	
第三章 数制 43	
3-1 十进制数..... 43	
3-2 二进制数..... 44	
3-3 八进制与十六进制数制..... 47	
3-4 各种数基之间的转换..... 49	
3-5 负数..... 54	
小结..... 57	
习题..... 57	
第四章 编码 60	
4-1 编码的需要..... 60	
4-2 二-十进制 (BCD) 数..... 61	
4-3 单位距离码..... 65	
4-4 检错码..... 68	
4-5 字符代码..... 70	
小结..... 73	
习题..... 73	
第五章 布尔代数及简化方法 76	
	5-1 布尔代数..... 76
	5-2 真值表..... 77
	5-3 逻辑算子..... 79
	5-4 布尔代数的公理..... 81
	5-5 布尔代数的定理..... 81
	5-6 组合逻辑电路的分析和综合..... 88
	5-7 标准形式..... 89
	5-8 卡诺图..... 91
	小结..... 99
	习题..... 99
	第六章 组合逻辑电路 102
	6-1 另外的一些逻辑算子..... 102
	6-2 正逻辑和负逻辑..... 108
	6-3 两级与非逻辑电路..... 110
	6-4 两级或非逻辑电路..... 111
	6-5 与或非门 (AOI)..... 113
	6-6 数字多路选择器..... 114
	6-7 译码器..... 118
	6-8 优先编码器..... 121
	小结..... 122
	习题..... 122
	第七章 触发器 125
	7-1 引言..... 125
	7-2 <i>R-S</i> 存贮触发器..... 126
	7-3 钟控 <i>R-S</i> 触发器..... 132
	7-4 钟控触发器的状态表和功能表..... 134
	7-5 钟控 <i>D</i> 触发器..... 134
	7-6 钟控触发器用作存贮器..... 136
	7-7 主-从 <i>R-S</i> 触发器和主-从 <i>D</i> 触发器..... 136
	7-8 数据锁定主-从触发器..... 139
	7-9 边沿触发型触发器..... 142
	7-10 <i>J-K</i> 触发器..... 142

* 节标题前的 * 号表示选学内容。

7-11 T 触发器	144
7-12 直接预置输入端和直接清零输入端	144
7-13 定时	145
小结	150
习题	150
第八章 计数器	151
8-1 引言	151
8-2 除 2 计数器	152
8-3 异步计数器	153
8-4 一位计数器	163
8-5 状态图	164
8-6 同步计数器	166
8-7 混合式计数器	194
小结	196
习题	196
第九章 移位寄存器和移位寄存器式计数器	198
9-1 引言	198
9-2 移位寄存器	199
9-3 移位寄存器式计数器	205
9-4 工作速度	213
小结	213
习题	213
第十章 大规模集成电路 (LSI)	215
10-1 引言	215
10-2 动态 MOS 非门和其他门电路	216
10-3 MOS 移位寄存器	218
10-4 随机存取存储器 (RAM)	222
10-5 只读存储器 (ROM)	231
10-6 可编程逻辑阵列 (PLA)	235
*10-7 按内容寻址存储器 (CAM)	238
*10-8 先进先出存储器 (FIFO)	239
10-9 电荷耦合器件 (CCD)	240
10-10 磁泡存储器 (MBM)	244
小结	246
习题	247
第十一章 运算电路	249
11-1 引言	249
11-2 数字比较器	250
11-3 加法器	253
11-4 减法器	256
11-5 算术逻辑单元 (ALU)	257
11-6 乘法器	257
小结	258

习题	258
第十二章 代码变换器与显示器件	260
12-1 引言	261
12-2 余 3 格雷码-8-4-2-1 BCD 码变换器	261
12-3 二进制码-格雷码变换器	263
12-4 格雷码-二进制码变换器	264
12-5 二进制码-BCD 码变换器	265
12-6 BCD 码-二进制码变换器	269
12-7 显示译码器和驱动器	273
小结	278
习题	278
第十三章 计算机和微型计算机	280
13-1 引言	280
13-2 基本特性	281
13-3 基本结构	282
13-4 基本程序设计方法	284
13-5 输入与输出 (I/O)	289
13-6 主存储器	295
13-7 控制器	298
小结	302
习题	302
第十四章 数字-模拟和模拟-数字转换器	303
14-1 引言	304
14-2 数字-模拟转换器 (DAC)	304
14-3 运算放大器	309
14-4 DAC 用的电流开关	313
14-5 利用梯形电阻网络的数字-模拟转换器	313
14-6 利用四电流源组合构成的 DAC	315
14-7 乘积式 DAC	317
14-8 DAC 参数的测量	317
14-9 模拟-数字转换器 (ADC)	319
14-10 ADC 的电路部件	320
14-11 计数斜坡式 ADC	326
14-12 跟踪式 ADC	327
14-13 逐位逼近式 ADC	328
14-14 并行式 ADC	331
小结	331
习题	331
第十五章 系统	333
15-1 引言	334
15-2 容差、噪声容限、加载原则	334
15-3 馈电	336
15-4 接地	336
15-5 施密特触发电路	340

15-6 单稳态多谐振荡器	343	奇数习题的答案	354
15-7 查寻故障用的仪器	348	2 的幂表	375
小结	352	词汇表	376
习题	352		

第一章 绪 论

1-1 引 言

电子系统是电子部件的一种有规则的组合,以便用来执行一定的功能。数字式电子系统用处理离散量*的方法来进行工作。离散量为整数、纯小数或者带小数,用离散量表示现实生活中的某些物理量,如温度、压力或者距离等,可精确到最低有效数字。与此相反的则是按连续方式表示上述量的模拟式电子系统。

许多测量值既可以用数字形式表示,也可以用模拟形式表示。例如,用模拟形式表示时间已经有数百年的历史了:用时钟短针和长针所对应的角度来表示所需表示的时间的全部信息。为了更好地分辨时间,又在时钟上加上了秒针。这种时间的表达方式如图 1-1a 所示。我们通常说图 1-1a 所表示的时间是二点三十分五十五秒。近几年来,出现了一种测量和显示时间的全新方法。这种方法是以前晶体振荡频率为基准,并将数字电路及数字显示技术结合在一起,把时间信息用数码的形式(例如数字)表示出来,如图 1-1b 所示。

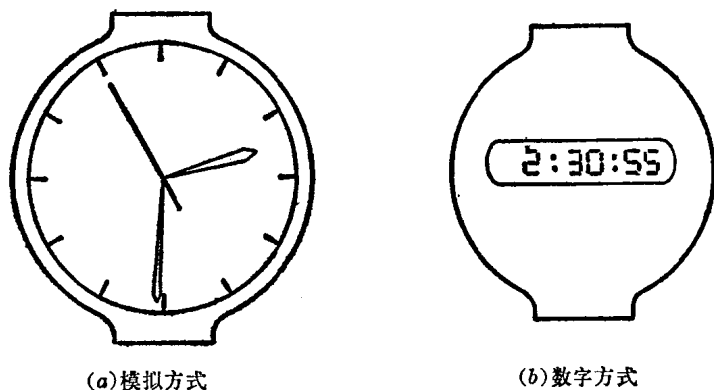


图 1-1 时间的表示方式

信息的数字处理在近十年内确实用得更加广泛了:除了数字表、数字钟和计算器之外,还有大量用于家用电器和小汽车内的数字控制器(微型计算机)。

数字式电子系统中信息用二元数——**比特**——表示,一比特可以被认为是“0”或者“1”两个常量中的一个。只用两个数字元素的运算系统称为**二元系统**:它的基础是由英国数学家乔治·布尔(George Boole)(1815—1864)在他的杰出的论文“思维规律的研究”(1854)一文中提出的。这个理论以用二元数“1”表示“真”、而用二元数“0”表示“伪”的概念为基础。直到八十四年以后香农(C·E·Shannon)根据布尔代数提出了**开关理论**,布尔的理论才找到了实际的应用。在二

* 原注:文中用黑体字表示的是新术语。

二十世纪三十年代后期用继电器做电话网络的开关器件，并且把开关理论运用于这些系统的设计中。布尔代数成功地用于开关网络的分析是在处理数字信息方面的重大突破之一。

把布尔代数用于大型开关网络的目的在于：不降低网络所执行的功能，而能够减少网络中元件(如继电器)的数量。考虑到继电器的价格、尺寸、功耗和可靠性等问题，把它的使用数量减到最少是极其重要的。

在以电子管作为基本元件的数字系统的设计中也用了同样的最小化的准则。例如宾夕法尼亚大学的ENIAC(一种最早期的计算机)用了多达一万八千只电子管。由于电子管寿命的限制，它的统计“平均无故障间隔时间”很短。

巴丁(Bardeen)、布莱顿(Brattain)和肖克利(Shockley)发明了晶体管，可以认为这是在数字信息处理方面的另一个主要的突破。晶体管的体积大约是继电器或电子管体积的百分之一，它的功耗也仅为其他器件功耗的百分之一。晶体管还为集成电路的研制提供了工艺基础。集成电路就是由许多晶体管相互连接而成的一个组件，它可以执行一些专用的功能。

1-2 集 成 电 路

一九五八年第一块集成电路研制成功，这是在电子设计方法上变革的开始。据估计现今用的集成电路的50%在三年之前都还没有问世。

在半导体工艺发展的最初阶段，器件就分为分立元件和集成电路两类。数字集成电路是由在一个半导体芯片上的几个晶体管和一些无源元件(电阻和电容)组成的，这些元件相互连接在一起，以执行一定的逻辑功能。这种能完成简单逻辑运算的逻辑功能块提供了实现开关网络的结构基础。工艺上进一步改革使得在一个半导体芯片上制作的晶体管数目越来越多，并且随着其复杂程度的增加，在一个组件内所包含的电路花样也越来越多。这些新电路能计数，进行两个二进制数的相加、相减或者相乘，比较两个二进制数的数值大小以及实现更复杂的逻辑运算等。

科学家和工程师们致力于发展晶体管工艺，使之满足更高集成度的要求。在半导体芯片上每个元件的尺寸和功耗得到了进一步的减小。在一块芯片上具有几十万只晶体管的器件已变成了现实。目前，实际的限制主要是组件的输入和输出引脚数不能太多，而不是受芯片上晶体管的数目和集成度的限制。

目前，我们把集成电路按集成度分为三级：(1) 小规模集成电路(SSI)是实现几种简单逻辑功能的电路；(2) 中规模集成电路(MSI)具有完成相当于十二到一百个逻辑功能的能力。通过适当地连接，功能就更为复杂，而且在多样性上有很大的潜力；(3) 大规模集成电路(LSI)的集成度最高。

目前，数字电路已用于不同的领域，例如信息存贮、医疗仪器、生产过程控制、计算器和计算机、空中交通管制、数字通讯以及语音和音调合成等。数字技术也开始用在习惯上使用模拟技术的场合。例如，在某一工业设备中，我们希望把温度信息从A点送到B点，假定温度信息是用一个模拟电压的形式传送的，该电压的大小正比于我们希望送出的温度。传送的媒介可以是电缆，也可以是调制的射频电波。在任何情况下，信息的传送都不可避免地要受到干扰的影响，这种干

扰会改变所传送的信息内容。假定我们希望传送温度信息的精确度为千分之一, 为达到这个规定的精确度, 就要求干扰必须小于所传送模拟量的千分之一, 在充满了由电动机、电弧焊、继电器等及类似设备所产生的大量电干扰(噪声)的工业环境中, 这可能是难以实现的。

换一种方法, 同一温度信息也可以以数字形式传送。这种数字式传送采用二元系统, 用经过适当编码的脉冲序列来表示温度信息。这里, 我们只关心在一定时间间隔内脉冲的“有”或者“无”。只有相当强的环境干扰才能改变脉冲的有无, 从而改变传送的信息内容。可见, 数字系统有很强的抗干扰能力。因而在许多不适宜采用模拟系统的场合, 人们更乐于使用数字系统。

另一方面, 数字系统在功耗上也常常优于模拟系统。新的半导体器件在尺寸和功耗减少的同时, 其工作速度也有了相当大的增长。由于晶体管的发明和集成电路的相继出现所可能造成的革命性变化一时还难以充分估计。例如很多早期的计算机占有几百立方米的体积, 需要消耗几十千瓦的电力, 为了使这样大量的能量散开而又不致使室温升到不能容忍的地步, 还要有相当大的空调设备。今天, 只要用一个书桌大小的计算机就能达到同等计算能力, 而耗电仅为前者的百分之一。此外, 很多相当普通的工作, 像交通灯、商业售货点和家用电器等的控制现在正借助于微型计算机来完成, 而这种微型计算机的体积只有零点几立方米, 并且耗电小于 10W。

各种开关元件的效率可以定量地描述: 从一个状态到另一个状态(由接通到断开, 或者相反)的转换时间越短, 则在给定时间内一个元件所能进行的运算次数也就越多, 因而也就认为它的效率越高。此外, 一个元件用的功率越小, 从功耗的意义上讲, 它的效率也就越高。于是, P (功耗) $\times t$ (开关时间) 的积(即速度-功耗积)是衡量一个开关元件效率高低的很好指标, 速度-功耗积越小, 效率越高。对于开关速度为 1/100s、典型功耗为 0.25W 的继电器来说, 这个速度-功耗积 $P \times t = 0.25 \times 1/100 \text{W} \cdot \text{s} = 0.0025 \text{W} \cdot \text{s}$ 。为了便于和其他开关器件比较, 我们把 $\text{W} \cdot \mu\text{s}$ 作为速度-功耗积的单位, 因而该继电器的速度-功耗积是 $2500 \text{W} \cdot \mu\text{s}$ 。电子管的较好的开关速度是 $0.1 \mu\text{s}$ 、其平均功耗是 2W, 可得速度-功耗积为 $2 \times 0.1 \text{W} \cdot \mu\text{s} = 0.2 \text{W} \cdot \mu\text{s}$ 。所以电子管的效率是继电器的效率的 12500 倍。

再看典型的集成电路, 它的开关速度为 $10 \text{ns} = 0.01 \mu\text{s}$, 而功耗为 0.25mW, 可得速度-功耗积为 $0.00025 \text{W} \times 0.01 \mu\text{s} = 0.0000025 \text{W} \cdot \mu\text{s}$, 又比电子管的效率提高 80000 倍。

因此, 新工艺确实有了巨大的突破, 使得数字技术能够迅速渗透到我们生活中的各个方面。

(周祖成译)

第二章 逻辑电路

教学目的

本章讲述各种逻辑电路和它们的工作原理。前面几小节讨论由开关和继电器组成的逻辑电路,然后,详细阐述二极管和晶体管的逻辑电路。学完本章之后,你应会:

1. 分析开关和继电器逻辑电路的工作。
2. 列出描述逻辑电路工作的真值表。
3. 看懂逻辑门内部的电路图。
4. 比较下面各种逻辑系列的优缺点: 二极管门电路; 二极管-晶体管逻辑电路(DTL); 晶体管-晶体管逻辑电路(TTL); 发射极耦合逻辑电路(ECL); 集成注入逻辑电路(I²L); 金属-氧化物-半导体(MOS)逻辑电路和互补 MOS 逻辑电路(CMOS)。
5. 用 DTL, TTL, ECL 或者 CMOS 逻辑门设计线或逻辑电路。
6. 分析电阻性和电容性负载对于逻辑电路的影响。

自我检查题

下面列出的一些问题,有助于你检查自己对本章内容的理解程度。当你学习有关内容时,请注意这些问题的解答。学完本章后,再回到本节,并回答以下问题。

1. 什么是真值表?
2. 画出带一个常开和两个常闭触点的继电器示意图。
3. 画一个 3 输入端二极管与门电路图。
4. 画一个 3 输入端二极管或门电路图。
5. 阐述在二极管门电路中电阻负载的影响。
6. 请说明什么是传输延时?
7. 什么叫转移特性?
8. 阈值电压的定义是什么?
9. 什么是与非门?
10. 什么是或非门?
11. 画一个线或 DTL 门电路,并阐述它的工作原理。
12. 阐述电阻性负载对 DTL 门电路的影响。
13. 比较下面各逻辑系列性能: 标准TTL, 低功耗 TTL, 高速 TTL, 肖特基 TTL 和低功耗肖特基 TTL。
14. 阐述电阻性负载对TTL 门电路的影响。
15. 阐述容性负载对 TTL 门电路的影响。

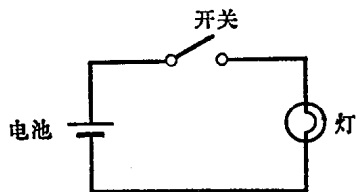
16. 画一个 TTL 与或非门的电路图。
17. 画一个三态 TTL 非门的电路图。
18. 画一个电流开关对, 并阐述它的工作原理。
19. 阐述线或多输出 ECL 门电路的工作原理。
- *20. 画一个 I^2L 电路。
21. 画一个用 n -沟道 MOS 晶体管的 2 输入端与非门。
22. 画出无缓冲级的和带缓冲级的 CMOS 逻辑非门电路图。
23. 画出 CMOS 双向传输门的电路图和符号。
24. 比较无缓冲的和带缓冲的 CMOS 逻辑非门(在带不同负载电容时)的传输延时。
25. 请说明什么是转换时间、上升时间和下降时间。
26. 讨论 CMOS 逻辑门电路的交流功耗。

2-1 开关逻辑电路

本节阐述开关在简单逻辑电路中的应用, 并且用真值表描述这些电路的工作情况。

2-1.1 最简电路

图 2-1a 示出一个由一个开关、一个电池和一个灯组成的简单逻辑电路。当开关断开时, 灯灭; 而当开关接通时, 灯亮。图 2-1b 的真值表示出了这种逻辑关系。表的左边一栏列出了开关的两种可能的组合(或叫状态), 右边一栏列出了灯的相应的状态。



(a) 电路图

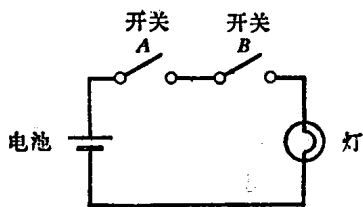
开 关	灯
断开	灭
接通	亮

(b) 真值表

图 2-1 由一个电池、一个开关和一个灯组成的电路

2-1.2 与电路

图 2-2a 示出一个由一个电池、两个串联的开关和一个灯组成的逻辑电路。只有当开关 A 和开关 B 都接通时, 灯才亮。因此这个电路称为与电路。这种逻辑关系也示于图 2-2b 的真值表



(a) 电路图

开 关 A	开 关 B	灯
断开	断开	灭
断开	接通	灭
接通	断开	灭
接通	接通	亮

(b) 真值表

图 2-2 用两个开关的与电路

中。表的左边两栏列出了开关位置(状态)的四种可能组合,最右边一栏列出了灯的相应的状态。

真值表也可以用来描述两个以上开关串联的逻辑电路的工作情况。

例 2-1

列出图 2-3a 所示电路的真值表。

解

真值表如图 2-3b 所示。表格有四列、八行。我们看到,只有当开关 A、B 和 C 都接通时,灯才是亮的。因此图 2-3a 是一个与电路。

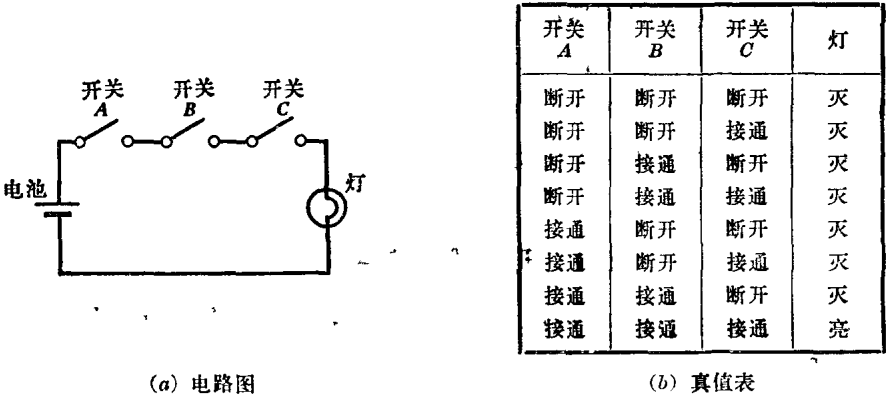


图 2-3 用三个开关的与电路

2-1.3 或电路

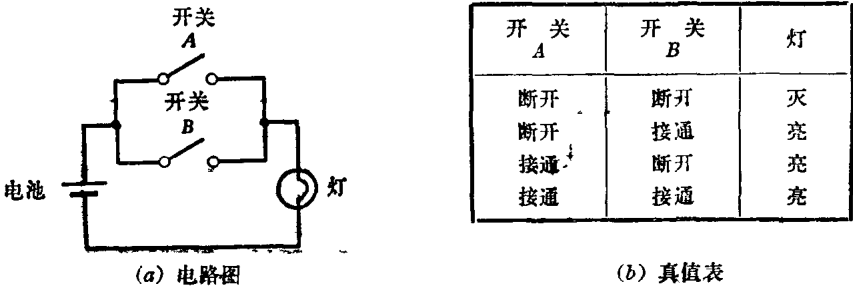


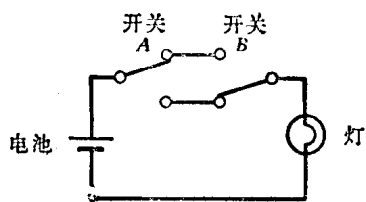
图 2-4 用两个开关的或电路

图 2-4a 示出了一个由一个电池、两个并联开关和一个灯组成的逻辑电路。当开关 A 或开关 B 两者中任意一个接通,或者两个都接通时,灯就是亮的。因此这个电路称做或电路。这种电路的逻辑关系示于图 2-4b 的真值表中。

正如在串联开关电路中一样,真值表也可以用来描述两个以上开关并联的电路的工作情况(见习题 2-2)。

2-1.4 其他电路

可用开关构成的逻辑电路不仅限于与电路和或电路。例如,图 2-5a 示出一个由一个电池、两个双掷开关和一个灯组成的逻辑电路。在建筑物中,当电灯要由装在不同地方的两个开关控制时(任一开关状态的改变都改变灯的状态),通常采用图 2-5a 电路。这个电路的工作原理也可用图 2-5b 的真值表来描述。



(a) 电路图

开 关 A	开 关 B	灯
向下	向下	亮
向下	向上	灭
向上	向下	灭
向上	向上	亮

(b) 真值表

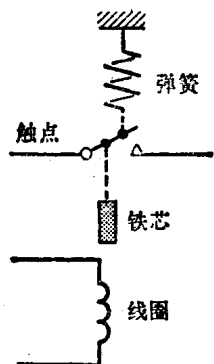
图 2-5 由一个电池、两个双掷开关和一个灯组成的电路

2-2 继电器逻辑电路

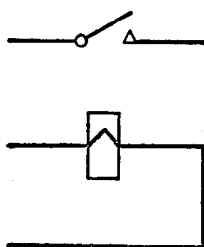
这一节讲述继电器的工作原理,并说明它在逻辑电路中的应用。

2-2.1 基本工作原理

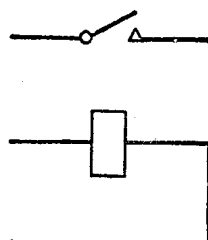
继电器工作原理如示意图 2-6a 所示。当电流流过线圈时,线圈的磁场吸引铁心,铁心就把和它连在一起的常开触点闭合。当线圈中没有电流流动时,铁心被释放,并被弹簧拉回原来位置,触点也就回到断开的状态。图 2-6b 和图 2-6c 给出了两种常用的继电器符号。在本书中我们将用图 2-6b 的符号。



(a) 示意图



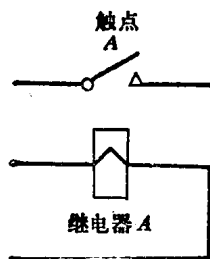
(b) 一种符号



(c) 一种符号

图 2-6 继电器

图 2-7 示出了常开触点继电器的工作情况:继电器断电(无激励电流)时,触点断开;继电器通电(有激励电流)时,触点闭合。图 2-8 示出了常闭触点继电器的工作情况:继电器断电时,触点闭合;继电器通电时,触点断开。

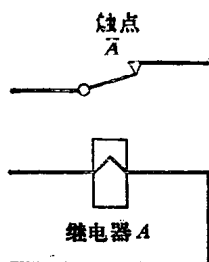


(a) 电路图

继 电 器 A	触 点 A
断电	断开
通电	闭合

(b) 真值表

图 2-7 常开触点继电器



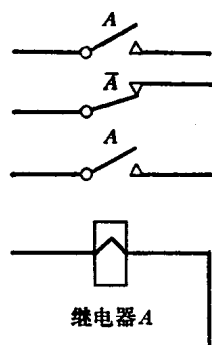
(a) 电路图

继电器 A	触点 $\bar{A}$
断电	闭合
通电	断开

(b) 真值表

图 2-8 常闭触点继电器

常开触点和常闭触点可以装在一个继电器上，如图 2-9a 的电路所示。电路由继电器 A 标有 A 的两个常开触点和标有 $\bar{A}$ 的一个常闭触点组成。图 2-9b 中的真值表是图 2-7b 和图 2-8b 两个真值表的组合。



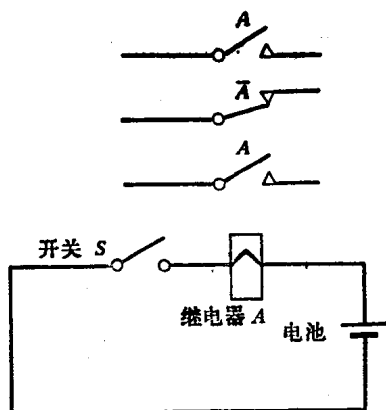
(a) 电路图

继电器 A	触点 A	触点 $\bar{A}$
断电	断开	闭合
通电	闭合	断开

(b) 真值表

图 2-9 有两个常开触点和一个常闭触点的继电器

图 2-10a 示出继电器的一个简单应用，图中继电器 A 由开关 S 控制。当用小功率开关去控制大功率设备工作时，通常采用图 2-10a 电路。该电路的工作情况可用图 2-10b 的真值表来概括。开关 S 断开时，继电器 A 断电，因而两个 A 触点断开， $\bar{A}$ 触点闭合。开关 S 接通时，继电器 A 通电，因而 A 触点闭合， $\bar{A}$ 触点断开。



(a) 电路图

开关 S	继电器 A	触点 A	触点 $\bar{A}$
断开	断电	断开	闭合
接通	通电	闭合	断开

(b) 真值表

图 2-10 由电池、开关和继电器组成的电路

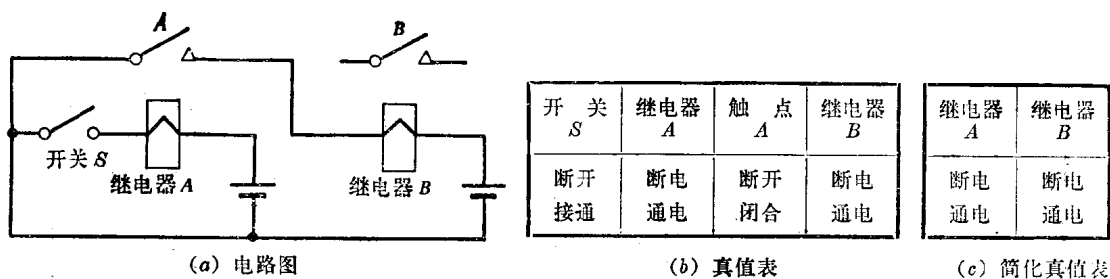


图 2-11 用两个继电器的电路

图 2-11a 示出用两个继电器的电路。开关 S 断开时, 继电器 A 断电, 触点 A 断开, 并且继电器 B 也是断电的; 当开关 S 接通时, 继电器 A 通电, 触点 A 闭合, 继电器 B 也通电。触点 B 的用途在图中没有表示出来。电路的工作情况概括在图 2-11b 的真值表中。如果我们只关心继电器的状态, 则我们可以用图 2-11c 的简化真值表。

图 2-12a 示出另一个用两个继电器的电路。在这电路中, 当开关 S 断开时, 继电器 A 是断电的, 但触点 $\bar{A}$ 是闭合的; 因此, 继电器 B 通电。同样, 当开关 S 接通时, 继电器 A 通电, 于是触点 $\bar{A}$ 断开, 继电器 B 断电。电路的工作情况概括在图 2-12b 的真值表中。如果我们只关心继电器的状态, 则我们可以用图 2-12c 的简化真值表, 它只表明了继电器的状态。

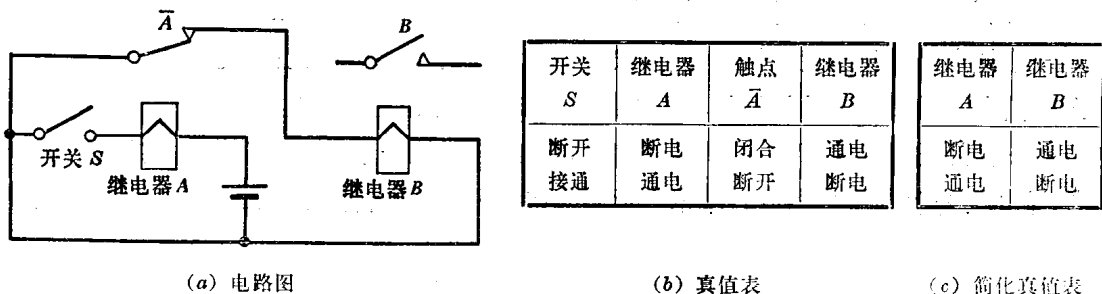


图 2-12 用两个继电器的另一种电路

2-2.2 与电路

图 2-13a 示出了一个用三个继电器的逻辑电路; 继电器 A 和 B 的接法以及继电器 C 的用途, 在图中没有表示出来。只有当继电器 A 和 B 两者都通电时, 继电器 C 才通电。因此, 这个电路称做与电路。这种电路的逻辑关系也表示在图 2-13b 的真值表中。

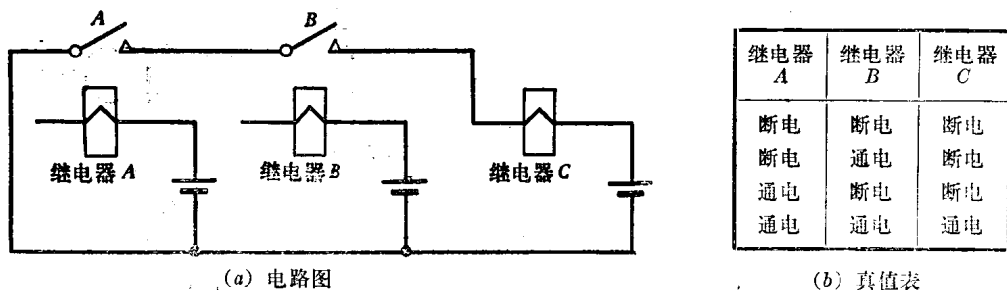


图 2-13 继电器与电路

2-2.3 或电路

图 2-14a 示出一个用三个继电器的逻辑电路; 继电器 A 和 B 的接法以及继电器 C 的用途, 在