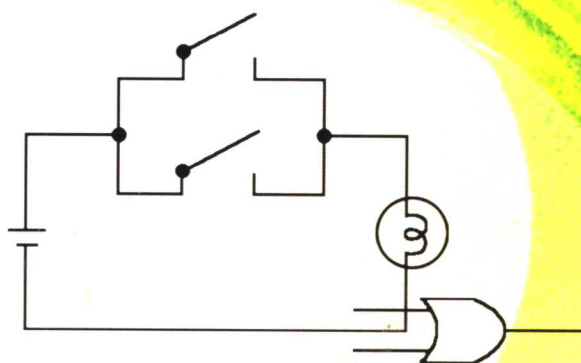


图解电子电路基础系列

数字电子电路

刘南平 谢莉莉 宋欣 编



图解电子电路基础系列

数字电子电路

刘南平 谢莉莉 宋欣 编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系“图解电子电路基础系列”之一。全书共分7章,主要内容有:数制与逻辑代数、组合逻辑电路、集成触发器、计数器和寄存器、半导体存储器与可编程逻辑器件、脉冲单元电路。在讲解的过程中,加大了图解的力度,以充分调动学生学习的积极性和主动性。本书内容精炼、重点突出,论述清晰、深入浅出。

本书可作为高等职业、专科院校的自动化、电子、通信、计算机等相关专业的课程教材,也可作为电子爱好者的入门书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子电路/刘南平等编. 北京:科学出版社,2006
(图解电子电路基础系列)

ISBN 7 03 017401 1

I. 数… II. 刘… III. 数字电子技术·图解 IV. TN79-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 060713 号

责任编辑:赵方青 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 / 封面设计:郭 艳

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷责任有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年8月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006年8月第一次印刷 印张: 10 1/2

印数: 1—4 000 字数: 198 000

定 价: 21.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

本书面向正准备学习数字电路的读者,或是曾经学过但想从头系统地温习这方面知识的读者;也可用作大专院校相关专业学生的教材、教学参考书及公司员工的教育培训教材。

本书共分七章。主要章节为:数制与逻辑代数,组合逻辑电路,集成触发器,计数器和寄存器,半导体存储器与可编程逻辑器件,脉冲单元电路。在讲解过程中,加大了图解的力度,以充分调动学生学习的积极性和主动性。通过把逻辑教学(逻辑代数)与看得见、摸得着的触点(开关)电路进行比较,使所述内容易于理解。大量使用在数字电路设计和时序控制电路分析中经常使用的图和表,目的是加强本书内容的深度和广度,为适用教学和实际应用的需要,也为了使初学者易于理解。

在编写过程中,遵循“精选内容、加强实践、培养能力、突出应用”的原则,力求做到以培养应用能力为主线,并在编写中特别注意以下几点:

(1) 在保证基本概念、基本原理和基本分析方法的基础上,力求避免繁琐的公式推导。

(2) 在讲解的同时,注意加大图解的力度,将抽象的理论概念用途用图示来辅助分析。

(3) 在内容编排方面,力求做到由浅入深、由难到易,循序渐进。

(4) 在内容阐述方面,贯彻理论与实践相结合,以应用为目的,以必须够用为度的原则,力求简明扼要,通俗易懂。

本书前二章由刘南平编写,其余五章由谢莉莉、宋欣编写,刘南平任主编。

由于编者学识所限,书中难免有讲述不够全面或遗漏处,希望各位专家和读者予以指正。

科学出版社

科龙书友服务卡

亲爱的读者:

为了提高我们的图书质量以及选题策划水平,也使我们更好地为您服务,请您填写以下信息。我们会根据您的需要,定期地给您提供科龙图书目录。

姓名:_____电话:_____传真:_____

电子信箱:_____

工作单位:_____邮编:_____

地址:_____

教育程度:初中(中职)☐ 高中(高职)☐ 本科☐ 硕士☐ 博士☐

职业:技术人员☐ 科研人员☐ 教师☐ 学生☐

曾购买科龙图书书名(条码上方有标注“东方科龙”):

_____ISBN 7-03-_____

_____ISBN 7-03-_____

对本书评价:_____

期望和要求:_____

所从事专业领域:_____

非常感谢您购买科龙图书,若您发现书中有误,请您填写以下勘误表,以便再版时及时更正,进一步提高本书的质量。

勘 误 表

页 码	行 数	错 误	修 改

备注:我公司承诺对于读者所填的信息给予保密,只用于我公司的图书质量改进和新书信息快递工作。已经购买我公司图书并回执本“科龙书友服务卡”的读者,我们将建立服务档案,并给予直接从我公司邮购图书 95 折免邮费的优惠。

回执地址:北京市朝阳区华严北里 11 号楼 3 层

科学出版社东方科龙图文有限公司电工电子编辑部(收)

邮编:100029



目 录

第 1 章 数制与逻辑代数	1
1.1 数制及其转换	1
1.1.1 基 数	1
1.1.2 十进制数、二进制数、八进制数和十六进制数	1
1.1.3 各进制数之间相互转换	5
1.2 逻辑变量与逻辑运算	8
1.3 逻辑代数	11
1.3.1 逻辑代数的公理和电路	11
1.3.2 逻辑代数的定理 I	12
1.3.3 逻辑代数的定理 II	13
1.3.4 逻辑代数的定理 III	14
1.3.5 逻辑代数定律总结	16
1.4 逻辑函数	16
1.4.1 两个变量的逻辑函数	16
1.4.2 逻辑符号	17
1.4.3 逻辑电路图	17
1.4.4 逻辑函数的化简	18
1.4.5 卡诺图描述法	19
1.4.6 卡诺图化简逻辑函数的原理	22
1.4.7 含有任意项的逻辑函数的表示方法	24
第 2 章 组合逻辑电路	26
2.1 逻辑门	26
2.1.1 半导体二极管、三极管和 MOS 管的开关特性	27
2.1.2 基本逻辑门	28
2.1.3 典型集成逻辑门	29
2.2 常用组合逻辑电路	34
2.2.1 组合逻辑电路基本概念	34
2.2.2 组合逻辑电路分析	34
2.3 加法器	35

2.3.1	半加器电路	35
2.3.2	全加器电路	37
2.4	编码器	38
2.5	解码器	39
2.6	数值比较器	39
2.6.1	一致电路	39
2.6.2	大小比较电路	40
2.7	数据选择器与分配器	42
2.7.1	数据选择器	42
2.7.2	数据分配器	44
2.8	组合逻辑电路中的竞争与险象	45
2.8.1	逻辑竞争与险象	46
2.8.2	逻辑险象的识别	46
2.8.3	逻辑险象的消除方法	49
第3章	集成触发器	50
3.1	集成触发器的概念及分类	50
3.2	基本 RS 触发器	50
3.2.1	RS NOR(或非)闭锁电路	51
3.2.2	RS NAND(与非)闭锁电路	52
3.3	同步 RS 触发器	53
3.4	边沿触发器	55
3.5	主从触发器	56
3.6	T 触发器和 D 触发器	57
3.7	集成触发器的使用及参数测试	57
3.7.1	应用集成触发器应注意的问题	57
3.7.2	集成触发器的参数及测试	58
3.7.3	集成触发器应用举例	59
第4章	计数器与寄存器	62
4.1	顺序电路	62
4.2	同步计数器	63
4.3	异步计数器	65
4.3.1	2 ⁿ 进制脉动计数器的设计	65
4.3.2	n 进制计数器	67

4.4	序列信号发生器	69
4.5	移位寄存器	72
第 5 章	半导体存储器与可编程逻辑器件	75
5.1	静态存储器(SRAM)	76
5.2	动态存储器	79
5.3	只读存取存储器	80
5.4	存储器单元的构成	82
5.5	存储器容量的扩展	84
5.6	可编程逻辑器件综述	86
5.7	可编程逻辑器件的表示方法	87
5.8	可编程逻辑器件的基本结构	90
第 6 章	脉冲单元电路	94
6.1	脉冲信号	94
6.1.1	正弦波与非正弦波	94
6.1.2	非正弦波的种类	98
6.1.3	脉冲波的基本概念	98
6.2	脉冲电路	100
6.2.1	脉冲电路的基本知识	100
6.2.2	各种脉冲电路	110
6.3	集成门构成的脉冲单元电路	117
6.3.1	数字 IC 与脉冲电路	117
6.3.2	与非门构成的多谐振荡器	122
6.3.3	触发器 IC	124
6.4	脉冲电路应用	127
6.4.1	频率计数器	127
6.4.2	电视接收机中的脉冲电路	130
第 7 章	模数转换器和数模转换器	134
7.1	数模转换器	135
7.1.1	D/A 变换电路的原理	135
7.1.2	权电阻网络 D/A 转换器	136
7.1.3	串联型 D/A 变换电路	137

7.2 模数转换器	138
7.2.1 A/D 转换器的基本工作原理	138
7.2.2 A/D 转换器的主要电路形式	141
7.2.3 A/D 转换器的主要技术指标	148
附录 A 美国标准信息交换码 (ASCII)	149
附录 B 国产半导体集成电路型号命名 (GB3430-82)	150
附录 C TTL 和 CMOS 逻辑门电路的技术参数	152
附录 D 电器图用图形符号二进制逻辑单元 (GB4728.12-85) 简介 ...	153
附录 E 常用逻辑符号对照表	156

第 1 章 数制与逻辑代数

1.1 数制及其转换

1.1.1 基 数

在十进制数中,在各个数位上也有 $10^0=1, 10^1=10, 10^2=100, \dots$ 这样的权。可以用权 $\times$ 数之和表示数值。这一点,即使是 n 进制数也不会改变。例如,在下述两个例子中:

$$2 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 3 \times 10^0 = 2573 \text{ (10 进制数示例)}$$

$$1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 11 \text{ (2 进制数示例)}$$

将十进制的十和二进制的二称为基数(radix 或 base)。各位上的数值 a_i 称为数字(digit)。基数除十和二以外,也可以是 4, 8, 16, $\dots$ 各种各样的数。一般称基数为 r 的是 r 进制。 r 进制的整数可以表示为

$$\begin{aligned} a_{n-1}a_{n-2}\Delta a_0 &= a_{n-1} \times r^{n-1} + a_{n-2} \times r^{n-2} + \Delta + a_0 \times r^0 \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} a_i r^i \end{aligned}$$

其中, $0 \leq a_i \leq r-1$ 。

同样, r 进制的小数可以表示为下式:

$$\begin{aligned} 0.a_{-1}a_{-2}\Delta a_{-m} &= a_{-1} \times r^{-1} + a_{-2} \times r^{-2} + \Delta + a_{-m} \times r^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{-1} a_i r^i \end{aligned}$$

其中, $0 \leq a_i \leq r-1$ 。

1.1.2 十进制数、二进制数、八进制数和十六进制数

1 十进制数

基数 R 为 10 的进位计数制称为十进制(Decimal),它有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 共 10 个有效数码,低位向其相邻高位“逢十进一,借一为十”。十进制数一般用下标 10 或 D 表示,如 $23_{10}, 87_D$ 等。

2 二进制数

如果用表达两种状态的方法来表示 1 个数位,就是二进制数的表示方法。比如手指头,可以弯下也可以伸直,若令弯下的状态与“1”对应,伸直的状态与“0”对应,则用手指就可以表示二进制数。图 1.1 示出了把右手的拇指弯下来表示第 1 位数。由于一只手有 5 个手指,故可以表达 5 位数。图 1.1 所表示的是“00001”。由于食指是第 2 位,所以图 1.2 所示即为“00010”。

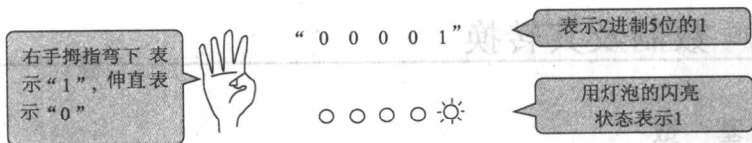


图 1.1 用手指表示 2 进制数的“1”

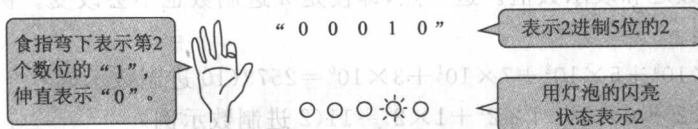


图 1.2 用灯泡表示 2 进制数的“2”

如果用人们通常所用的十进制数来表达的话,则数字 0~9 用 1 个数位即可表示,但是二进制的数却只有“0”和“1”两个值。因此,“2”就必须用第 2 个数位来表示。然而,不管是谁,在刚开始学数数时,都有过用两只手从 1 数到 10 的经历。在这种情况下,只能用 1 只手表示 5 个数,两只手表示 10 个数。所以只能记忆十进制数的 1~10。可是如果采用图 1.1、图 1.2 所示方法,则可以表达达到十进制数的 1~1023。

表 1.1 给出了十进制数的 $(0)_{10} \sim (15)_{10}$ 和 2 进制数的 $(0)_2 \sim (1111)_2$ 的表示方法。这里,为防止混淆,十进制数用 $()_{10}$ 表示,2 进制数用 $()_2$ 表示。

十进制数用 1 个数位即可表示 $(1)_{10} \sim (9)_{10}$,但若用二进制数表示,则由于 $(9)_{10}$ 是 $(1001)_2$,故十进制数中的 9 在二进制数中需用 4 个数位表示。另外,由于 $(111)_2 = (7)_{10}$,故用二进制数的 3 个数位只能表示到十进制数的 7;由于 $(1111)_2 = (15)_{10}$,则 2 进制数的 4 个数位可以表达达到十进制数的 15。

上述是二进制整数的表示方法,那么如何用二进制数表示小数呢?

在二进制中,把相当于位的数叫作比特(bit; binary digit)。现在看一下各个数位所表示的数。由表 1.1 可知,二进制数中第 1 个数位的“1”表示 $(1)_{10}$,第 2 个数位的“1”表示 $(2)_{10}$,第 3 个数位的“1”表示 $(4)_{10}$,第 4 个数位“1”表示 $(8)_{10}$ 。把这些整理归纳一下,则成为表 1.2。一般来说,二进制数中第 n 个数位的“1”表示数

值 2^{n-1} 。这个值叫作二进制数各个数位的权。

表 1.1 二进制数与十进制数的比较

2 进制数	10 进制数	2 进制数	10 进制数
0	0	1000	8
1	1	1001	9
10	2	1010	10
11	3	1011	11
12	4	1100	12
101	5	1101	13
110	6	1110	14
111	7	1111	15

表 1.2 二进制数的数位与权

n 位	各位的二进制数	权的十进制数	用乘方表示的权
1	1	1	2^0
2	10	2	2^1
3	100	4	2^2
4	1000	8	2^3
5	10000	16	2^4
6	100000	32	2^5
7	1000000	64	2^6
8	10000000	128	2^7
9	100000000	256	2^8
10	1000000000	512	2^9

其次,考虑用灯泡的亮、灭表示数值的例子。图 1.3 示出了对应于数位 1、4、5 的灯泡的闪亮情况,表示出的是权为 20、23 和 24 的数。因此,用这 5 个灯泡所表示的数值是

$$\begin{aligned}
 (11001)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\
 &= 16 + 8 + 0 + 0 + 1 = 25
 \end{aligned}$$

图 1.3 所示示例中采用的是与右手的 5 个手指相对应的有 5 个数位的二进制数。最高位的数位(对于本例,是第 5 个数位)一般叫作最高有效位(MSB, Most Significant Bit);最低位的数位,即第 1 个数位叫作最低有效位(LSB, Least Significant Bit)。

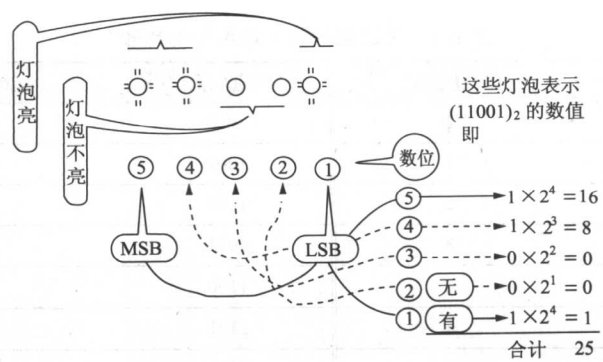


图 1.3 5 位数的示例

把二进制数的数位的权进行扩展，表 1.3 示出了 2 的 $-n$ 次方的数位的权。 2^{-n} 的位是比 1 小的小数。表中给出了直到小数点以后五位的权。 2^{-1} 是 $(0.5)_{10}$ ，在小数的数位中它的分量最重，是小数第 1 位的数位。同样， 2^{-n} 的数位是小数第 n 位的数位。

表 1.3 二进制小数数位的权

二进制小数 n 数位的权	二进制小数的十进制表示
$2^{-0} = \frac{1}{2^0}$	1
$2^{-1} = \frac{1}{2^1}$	0.5
$2^{-2} = \frac{1}{2^2}$	0.25
$2^{-3} = \frac{1}{2^3}$	0.125
$2^{-4} = \frac{1}{2^4}$	0.0625
$2^{-5} = \frac{1}{2^5}$	0.03125

可见，图 1.4 示出的是 $(0.0101)_2 = (0.3125)_{10}$

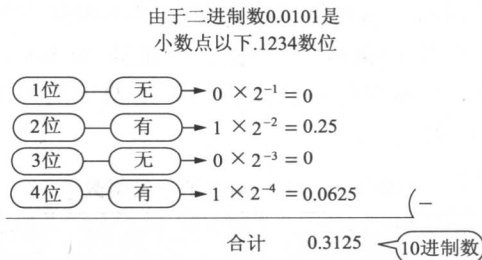


图 1.4 2 进制小数示例

3 八进制

基数 R 为 8 的进位计数制称为八进制 (Octal), 它有 0、1、2、3、4、5、6、7 共 8 个有效数码, 低位向相邻高位“逢八进一, 借一为八”。八进制数一般用下标 8 或 O 表示, 如 $617_8, 547_O$ 等。

4 十六进制

基数 R 为 16 的进位计数制称为十六进制 (Hexadecimal), 十六进制有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A(10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15) 共 16 个有效数码, 低位向相邻高位“逢十六进一, 借一为十六”。十六进制数一般用下标 16 或 H 表示, 如 $A116, 1FH$ 等。

1.1.3 各进制数之间相互转换**1 二进制——十进制**

先考虑将十进制的整数 M 变换为二进制。将变换的结果表示成二进制 $a_{n-1}a_{n-2}\Lambda a_1a_0$, 有下式成立:

$$\begin{aligned} M &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \Lambda + a_1 \times 2^1 + a_0 \\ &= (a_{n-1} \times 2^{n-2} + a_{n-2} \times 2^{n-3} + \Lambda + a_1) \times 2 + a_0 \end{aligned}$$

将上式两边用 2 除, 可求得商 Q_0 和余数 R_0 , 如下式:

$$Q_0 = a_{n-1} \times 2^{n-2} + a_{n-2} \times 2^{n-3} + \Lambda + a_1$$

$$R_0 = a_0$$

由此可知, 将 10 进制整数 M 用 2 除所得余数 R_0 与 a_0 相等。

进一步可求得将商 Q_0 用 2 除的商 Q_1 与余数 R_1 , R_1 与 a_1 相等。

这样连续计算下去, 就将 $a_0 \sim a_{n-1}$ 全部求出。图 1.5 表示

2	181	余数 R_1
2	901	a_0
2	450	a_1
2	221	a_2
2	110	a_3
2	51	a_4
2	21	a_5
	10	a_6
		a_7

图 1.5 十进制向二进制变换的例子

出将十进制数 181 变换为二进制数的过程。变换结果与各位

的位权示于图 1.5。这样,表示 8 位二进制数需要 8bit,8bit 称为 1 个字节(Byte),这是经常使用的量。1 字节能表示 2^8 个数。一般讲, n bit 可以表示 2^n 个数,将 $2^{10}=1024$ 称为 1K,当作表示单位,这是由于 1K 是便于记忆的数。表 1.4 是 2^n 和相对应的十进制数的列表。

表 1.4 与 2^n 对应的十进制数

2^n	十进制数	2^{-n}	十进制数
2^0	1		
2^1	2	2^{-1}	0.5
2^2	4	2^{-2}	0.25
2^3	8	2^{-3}	0.125
2^4	16	2^{-4}	0.062 5
2^5	32	2^{-5}	0.031 25
2^6	64	2^{-6}	0.015 625
2^7	128	2^{-7}	0.007 812 5
2^8	256	2^{-8}	0.003 906 25
2^9	512	2^{-9}	0.001 953 125
2^{10}	1 024	2^{-10}	0.00 976 562 5
2^{11}	2 048	2^{-11}	0.000 488 281 25
2^{12}	4 096	2^{-12}	0.000 244 140 625
2^{13}	8 192	2^{-13}	0.000 122 070 312 5
2^{14}	16 384	2^{-14}	0.000 061 035 156 25
2^{15}	32 768	2^{-15}	0.000 030 517 578 125
2^{16}	65 536	2^{-16}	0.000 015 258 789 062 5

2 八进制数——十进制数

讨论一下将八进制数 7346 变换为十进制数的方法。在 r 中,令 $r=8,n=4$,可得到下式:

$$\begin{aligned} 7346_8 &= 7 \times 8^3 + 3 \times 8^2 + 4 \times 8^1 + 6 \times 8^0 \\ &= 7 \times 512 + 3 \times 64 + 4 \times 8 + 6 = 3814_{10} \end{aligned}$$

对八进制整数而言,从最低的数位开始,其各位的位权分别是 $8^0,8^1,8^2,\dots$ 二进制数的最高位称为 MSB,最低位称为 LSB,二进制数以外的数的最高位称为 MSD(Most Significant Digit),最低位称为 LSD(Least Significant Digit)。

将十进制数变换为八进制数可以参照十进制数向二进制数变换方法来进行。在十进制数向二进制数变换中,是将十进制数用二除,从其余数 R_i 可求得二进制

数的各位数字,而在十进制数向八进制数变换中,是将十进制数用八除而求其各个余数。图 1.6 为所示一例。

		余数
8	7 8 1 4	
8	4 7 6	6 ... $R_0 = a_0$
8	5 9	4 ... $R_1 = a_1$
	7 3	... $R_2 = a_2$
		... $R_3 = a_3$
3 8 1 4 ₍₁₀₎		= 7 3 4 6 ₍₈₎

图 1.6 十进制向八进制变换

3 十六进制——十进制

讨论一下将十六进制数 3AF5 变换为十进制数的方法。在 r 进制公式中,令 $r=16, n=4$,可得到下式:

$$\begin{aligned} 3AF5_{16} &= 3 \times 16^3 + A \times 16^2 + F \times 16^1 + 5 \times 16^0 \\ &= 3 \times 4096 + 10 \times 256 + 15 \times 16 + 5 = 15093_{10} \end{aligned}$$

而将十进制数变换为十六进制数可以参照前面的十进制数向八进制数的变换方法去进行,图 1.7 为所示一例。

		余数
16	1 5 0 9 3	
16	9 4 3	5 $R_0 = a_0$
16	5 8	15 = F ... $R_1 = a_1$
	3 10	= A ... $R_2 = a_2$
		... $R_3 = a_3$
1 5 0 9 3 ₍₁₀₎		= 3 A F 5 ₍₁₆₎

图 1.7 十进制向十六进制变换

4 二进制、八进制和十六进制数的关系

八进制数的 1 位数 0~7 对应着二进制数的 000~111。即八进制数的 1 位正好与二进制数的 3 位相对应。从 $2^3=8$ 的关系也可知道。同样,由于 $2^4=16$,故 4 位二进制数对应 1 位十六进制数。图 1.8 为所示一例。

2^{11}	2^9	2^6	2^3	2^0	
1	1	1	0	1	1
1	0	1	1	0	0
1	0	0	1	1	0
7	3	4	6		

二进制数

八进制数

8^3 8^2 8^1 8^0

(a) 二进制数与八进制数的关系

2^{15}	2^{12}	2^8	2^4	2^0	
0	0	1	1	1	0
1	1	0	1	0	1
1	0	1	1	1	0
1	1	1	1	0	1
3	A	F	5		

二进制数

十六进制数

16^3 16^2 16^1 16^0

(b) 二进制数与十六进制数的关系

图 1.8 八进制数、十六进制数与二进制数的对应

1.2 逻辑变量与逻辑运算

如图 1.9 所示,开关或关或开,没有中间状态。将这个开关的状态记为 A 。 A 并非开关部件本身,而只是表示开关状态的变量,称为逻辑变量(Logic Variable)。逻辑变量的取值为真(True)或者假(False)。例如对上述开关而言,开关闭合时 A =真,断开时 A =假。对逻辑变量的两个值,真和假分别用常数 1 和 0 来表示。这一变量形式叫做逻辑变量。



图 1.9 开关的开闭和逻辑变量

将结合 n 个逻辑变量形成新的逻辑变量的运算称为逻辑运算,所得出的结果称为逻辑函数;逻辑运算有逻辑乘法、逻辑加法和逻辑否定(非)等。并不包含通常的四则运算,即不能进行减法和除法。

1 逻辑乘

如图 1.10 所示电路,两个开关都闭合,灯才亮,即使有一个开关断开,灯就灭了。将这些状态归纳为表 1.4。其中用于表示开关 1、2 以及灯泡状态的变量分别为 A 、 B 和 f 。对于 A 、 B ,当开关闭合时为真,断开时为假,而对于 f ,则当电灯亮时为真,电灯灭时为假,将表 1.5 写成表 1.6(a)那样的真值表。若将真对应为逻辑 1,假对应为逻辑 0,则可得到表 1.6(b),仅当 A 和 B 皆为逻辑 1 时, f 才为 1,只要 A 、 B 有一个为 0,这与算术运算的乘法类似,故称为逻辑乘(Logic Product 或 Con-