



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

第2版

数字电子技术

SHUZI DIANZI JISHU

张明莉 王斌 主编



赠 电子 课件

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数字电子技术

第2版

主 编	张明莉	王 斌	
副主编	李宗宝	丛 振	曾献芳
参 编	倪 琳	许 娅	刘继承
	刘阿玲	王松林	



机械工业出版社

本书为“十二五”职业教育国家规划教材,经全国职业教育教材审定委员会审定。本书以工程技术应用为出发点,由浅入深地介绍了逻辑代数基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与变换、数-模转换器、模-数转换器、半导体存储器和可编程逻辑器件、数字电路读图练习、Multisim 11 仿真软件简介及应用等内容。本书力求全面介绍数字电子技术的知识,并将理论与仿真实验、实训相结合,以达到举一反三、融会贯通的目的。本书简单介绍了 Multisim11 软件,并在相应的章节配有相关技术应用的内容,便于读者全面掌握数字电子技术的应用。

本书可作为电气、电子信息、计算机以及部分非电类专科和高职院校学生的入门教材,也可以作为相关专业的本科学生及工程技术人员的参考用书。

凡选用本书作为教材的教师,均可登录机械工业出版社教育服务网 www.cmpedu.com 下载本教材配套电子课件,或发送电子邮件至 cmpgaozhi@sina.com 索取。咨询电话:010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/张明莉,王斌主编. —2 版. —北京:机械工业出版社, 2016. 12

“十二五”职业教育国家规划教材 经全国职业教育教材审定委员会审定 普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-111-55282-6

I. ①数… II. ①张… ②王… III. ①数字电路-电子技术-高等职业教育-教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 257576 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:赵志鹏 责任编辑:赵志鹏 责任校对:张 征
封面设计:鞠 杨 责任印制:常天培
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
2017 年 1 月第 2 版第 1 次印刷
184mm×260mm·14.75 印张·359 千字
0001—3000 册
标准书号:ISBN 978-7-111-55282-6
定价:32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

本书为“十二五”职业教育国家规划教材，经全国职业教育教材审定委员会审定。本书《数字电子技术》第1版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，第2版在第1版的基础上进行了修改并采用了新版的 Multisim 11 电路仿真软件进行仿真。

本书是由从事电子技术基础课程教学和电子技术工程项目开发多年的教师编写的，第2版比第1版在内容上更紧凑，系统性更强，应用实例也更多。每章内容由浅入深，有利于培养学生的自学、应变和创新能力。本书第2版的主要内容包括逻辑代数基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与变换、数-模转换器、模-数转换器、半导体存储器和可编程逻辑器件、数字电路读图练习、Multisim 11 仿真软件简介及应用，每个章节后配有相应知识的应用实例。本书的参考学时为：理论 60 学时，仿真实验 14 学时。读者可以根据课时的要求自行取舍学习内容。本书由北京联合大学、扬州工业职业技术学院、大连职业技术学院、安徽水利电力职业技术学院、安徽铜陵学院、辽宁辽东学院、无锡交通高等职业技术学校、安徽商贸职业技术学院教师联合编写。其中，第1章由曾献芳编写，第2章由李宗宝编写，第3章由倪琳编写，第4章由丛振编写，第5章由王斌、刘阿玲编写，第6章由许娅编写，第7章由李宗宝编写，第8章由刘继承编写，张明莉、王松林制作了本书章节的仿真。本书由张明莉、王斌任主编，李宗宝、丛振、曾献芳任副主编。

本书在编写过程中得到了艾兰、王珏、贺玲芳、吉素霞、田文杰的帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

前 言

第 1 章 逻辑代数基础 1

1.1 数制和码制 1

1.1.1 进位计数制 1

1.1.2 几种数制之间的转换 2

1.1.3 二进制代码 4

1.2 基本逻辑与逻辑门电路 5

1.2.1 3 种最基本的逻辑运算和复合 逻辑运算 5

1.2.2 逻辑函数的公式、定理 7

1.2.3 逻辑函数的表示方法及相互转换 9

1.2.4 逻辑函数的化简 12

1.3 分立元器件门电路与集成逻辑门 电路 19

1.3.1 分立元器件门电路 19

1.3.2 TTL 集成门电路 22

1.3.3 CMOS 集成门电路 30

本章小结 37

复习思考题 38

第 2 章 组合逻辑电路 41

2.1 组合逻辑电路的分析与设计 41

2.1.1 组合逻辑电路的分析方法 42

2.1.2 组合逻辑电路的设计方法 44

2.2 组合逻辑器件 47

2.2.1 加法器 47

2.2.2 数值比较器 52

2.2.3 编码器与译码器及显示电路 54

2.2.4 数据选择器和数据分配器 65

2.3 组合逻辑电路中的竞争冒险 70

2.3.1 竞争和冒险现象 70

2.3.2 竞争冒险现象的判断与消除 方法 70

2.4 应用实例——译码器用于灯光控制 72

本章小结 73

复习思考题 74

第 3 章 时序逻辑电路 78

3.1 触发器 78

3.1.1 基本 RS 触发器 78

3.1.2 时钟控制触发器 83

3.1.3 触发器功能的转换 92

3.1.4 转换方程及逻辑图 92

3.2 时序逻辑电路的特点和分类 94

3.2.1 时序逻辑电路的特点 94

3.2.2 时序逻辑电路的分类 95

3.2.3 时序逻辑电路功能的描述方法 95

3.3 时序逻辑电路的分析与设计 96

3.3.1 时序逻辑电路的分析 96

3.3.2 时序逻辑电路的设计 99

3.4 计数器 101

3.4.1 二进制计数器 101

3.4.2 十进制计数器 106

3.4.3 任意进制计数器 109

3.5 寄存器 115

3.5.1 数码寄存器 115

3.5.2 移位寄存器 115

3.6 应用实例——简易旋转彩灯 119

本章小结 120

复习思考题 121

第 4 章 脉冲信号的产生与变换 124

4.1 单稳态触发器 124

4.1.1 微分型单稳态触发器 124

4.1.2 积分型单稳态触发器 126

4.1.3 集成单稳态触发器 128

4.1.4 单稳态触发器的应用 131

4.2 施密特触发器 133

4.2.1 施密特触发器的特性 133

4.2.2 门电路构成的施密特触发器 134

4.2.3 集成施密特触发器 136

4.2.4 施密特触发器的应用 138

4.3 多谐振荡器 140

4.3.1 门电路构成的多谐振荡器 140

4.3.2 石英晶体多谐振荡器 142

4.3.3 施密特触发器构成的多谐

振荡器	144	6.3.2 PLD 的应用	185
4.4 555 定时器及其应用	145	6.3.3 PLD 设计过程	188
4.4.1 555 定时器的电路组成、引脚 排列与逻辑功能	145	6.4 应用实例——秒表电路	189
4.4.2 555 定时器构成的单稳态 触发器	146	本章小结	191
4.4.3 555 定时器构成的施密特 触发器	148	复习思考题	192
4.4.4 555 定时器构成的多谐振荡器	149	第 7 章 数字电路读图练习	194
4.5 应用实例——变音门铃电路	151	7.1 数字电路读图的要求、方法和步骤	194
本章小结	151	7.1.1 读图的基本要求	194
复习思考题	152	7.1.2 读图的一般方法	194
第 5 章 数-模、模-数转换器	154	7.1.3 读图的具体步骤	194
5.1 D-A 转换器	154	7.2 读图实例	195
5.1.1 D-A 转换器电路及原理	154	7.2.1 三位半数字电压表	195
5.1.2 集成 D-A 转换器	160	7.2.2 整点报时数字电子钟	199
5.2 A-D 转换器	162	本章小结	203
5.2.1 A-D 转换器电路及原理	162	复习思考题	203
5.2.2 集成 A-D 转换器	168	第 8 章 Multisim 11 仿真软件简介 及应用	204
5.3 应用实例——隔离型 A-D 转换 电路	171	8.1 Multisim 11 软件界面	205
本章小结	172	8.1.1 Multisim 11 的主窗口	205
复习思考题	174	8.1.2 菜单栏	205
第 6 章 半导体存储器和可编程逻辑 器件	175	8.1.3 系统工具栏	210
6.1 半导体存储器	175	8.1.4 元器件工具栏及仿真工具栏	210
6.1.1 只读存储器	175	8.1.5 仪器工具栏	213
6.1.2 随机存储器	177	8.1.6 Multisim 软件环境设置	214
6.2 应用实例——电子声光音乐 门铃电路	180	8.2 电路原理图的绘制与仿真	215
6.3 可编程逻辑器件	182	8.2.1 创建电路	215
6.3.1 PLD 的结构及分类	182	8.2.2 使用仪表	216
		8.2.3 应用虚拟工作台仿真电路 的步骤	223
		8.3 仿真实例	223
		复习思考题	229
		参考文献	230

第 1 章 逻辑代数基础

逻辑代数是分析和设计数字电路的基本数学工具。本章首先介绍了逻辑代数的基本知识,包括数制和码制以及各种数制之间的转换关系、逻辑函数的表示方法和化简方法,然后介绍了实现逻辑函数的基本门电路和集成逻辑门电路。

1.1 数制和码制

1.1.1 进位计数制

在表示数字时,仅用一位数码往往不够用,必须用进位计数的方法组成多位数码。多位数码每一位的构成以及从低位到高位进位的规则称为进位计数制,简称进位制。在日常生活及生产实践中,人们常用的进位制有十进制、二进制、八进制、十六进制等。

1. 十进制 十进制是日常生活和工作中最常使用的计数制。在十进制数中,每一位有 0~9 十个数字符号,所以计数制的基数是 10,且低位和相邻高位的进位关系是“逢十进一”。任意一个十进制数可以表示为

$$\begin{aligned}(D)_{10} &= K_{n-1}10^{n-1} + K_{n-2}10^{n-2} + \cdots + K_010^0 + K_{-1}10^{-1} + \cdots + K_{-m}10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} K_i 10^i\end{aligned}\quad (1-1)$$

式中 10——计数制的基数;

K_i ——第 i 位的系数,可以是 0~9 十个数字符号中任意一个;

10^i ——第 i 位的权;

n, m ——正整数, n 表示整数部分位数, m 表示小数部分位数。

例如,十进制数 2008.5 可表示为

$$\begin{aligned}(2008.5)_{10} &= 2 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} \\ &= 2000 + 0 + 0 + 8 + 0.5\end{aligned}$$

式中的下脚标 10 表示括号里的数是十进制数。

若以 R 取代式 (1-1) 中的 10,即可得到 R 进制数的普遍形式

$$(D)_R = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i R^i \quad (1-2)$$

式中 R ——基数,表示有 R 个不同的数字符号且逢 R 进位。

例如,八进制数 127.5 可表示为

$$(127.5)_8 = 1 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} = 64 + 16 + 7 + 0.625 = (87.625)_{10}$$

式中,下脚标 8 表示括号里的数是八进制数。

2. 二进制 目前在数字系统中广泛采用二进制。这是因为二进制数的每一位只取 0 或 1 两个数字符号,可以用某些电子元器件的两个不同稳定状态(如晶体管的饱和与截止)来表示。任意二进制数可以表示为

$$(D)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i 2^i \quad (1-3)$$

式中 2——计数制的基数；

2^i ——第 i 位的权，低位和相邻高位的进位关系是“逢二进一”。

例如，二进制数 1011.1011 可表示为

$$\begin{aligned}(1011.1011)_2 &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4} \\ &= 8 + 0 + 2 + 1 + 0.5 + 0.25 + 0.125 + 0.0625 \\ &= (11.6875)_{10}\end{aligned}$$

式中，下脚标 2 表示括号里的数是二进制数。

3. 十六进制 采用二进制计数，对数字系统来说，处理、存储、传输极为方便，然而若需表示一个较大的数，则位数较多，读出和书写都不方便。因此常采用十六进制数进行书写或打印。十六进计数制有 16 个数字符号，且“逢十六进一”，见表 1-1。

表 1-1 十进制数、二进制数和十六进制数的对应表

十进制数	二进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	十六进制数
0	0000	0	8	1000	8
1	0001	1	9	1001	9
2	0010	2	10	1010	A
3	0011	3	11	1011	B
4	0100	4	12	1100	C
5	0101	5	13	1101	D
6	0110	6	14	1110	E
7	0111	7	15	1111	F

任意一个十六进制数可以表示为

$$(D)_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i 16^i \tag{1-4}$$

例如，十六进制数 5BC.6 可表示为

$$\begin{aligned}(5BC.6)_{16} &= 5 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 12 \times 16^0 + 6 \times 16^{-1} \\ &= 1280 + 176 + 12 + 0.375 \\ &= (1468.375)_{10}\end{aligned}$$

式中，下脚标 16 表示括号里的数是十六进制数。

八进制和十六进制可以根据需要，借助于它们与计算规则简单的二进制的关系，对十进制进行不同的编码或转换。

1.1.2 几种数制之间的转换

数字系统采用的是二进制数，书写时采用十六进制数，因此必然产生各种进位计数制的相互转换。

1. 二进制数与十六进制数的转换 把二进制数转换为等值的十六进制数时，由于 4 位二进制数恰好有 16 个状态，每 1 位十六进制数正好对应 4 位二进制数，见表 1-1。

二进制数转换成十六进制数时，以小数点为界，整数部分自右向左，从低位向高位每 4 位二进制数分成一组，最后一组不足 4 位时，左边高位用 0 补足；小数部分则自左向右，从高位向低位每 4 位一组，最后不足 4 位时，右边低位用 0 补足，然后每一组可用 1 位对应的十六进制数表示。例如

$$(1011101.1010011)_2 = (0101\ 1101.1010\ 0110)_2 = (5D.A6)_{16}$$

十六进制数转换为二进制数时，将 1 位十六进制数用对应的 4 位二进制数表示，依次排列，然后去掉整数部分最高位的 0 和小数部分最低位的 0，例如

$(7BC.4)_{16} = (0111\ 1011\ 1100.0100)_2 = (11110111100.01)_2$

2. 二进制数与十进制数间的转换

(1) 二进制数转换成十进制数。将二进制数按二进制的权（各位二进制数的权如表 1-2 所示）展开，然后把所有各项的数值按十进制数相加，就可以得到相应的十进制数。例如

$$\begin{aligned}(11101.0101)_2 &= 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^0 + 2^{-2} + 2^{-4} \\ &= 16 + 8 + 4 + 1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{16} \\ &= (29.3125)_{10} \\ &\approx (29.31)_{10}\end{aligned}$$

表 1-2 各位二进制的权

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2^n	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	16384	32768

小数部分转换时应注意精度。上例最低位为 1/16，转换为十进制数只需到百分位。当 m 较大时，按权相加进行转换很烦琐，可以采用将小数部分 $x \times 2^m$ 变为整数进行转换后再除以 2^m 。例如上例小数部分 $(0.0101)_2 \times 2^4 \div 2^4 = (101)_2 \div 2^4 = 5 \div 16 \approx 0.31$ 。

(2) 十进制数转换为二进制数。需将十进制数的整数部分和小数部分分别进行转换。

1) 整数部分。除 2 取余，第一次除以 2 所得的余数是转换后所得的二进制数的最低位，第二次除以 2 所得的余数是转换后所得的二进制数的倒数第二位……，以此类推，最后一次除以 2 商为零时所得的余数是二进制的最高位。由最高位向最低位排列所得的余数即为应得的二进制数。

例如，将 $(35)_{10}$ 转换为二进制数，即由

2 | 35

2 | 17

2 | 8

2 | 4

2 | 2

2 | 1

..... 余1

..... 余1

..... 余0

..... 余0

..... 余0

..... 余1

.....最低位 b_0

b_1

b_2

b_3

b_4

最高位 b_5

0

可得转换结果为 $(35)_{10} = (100011)_2$ 。

在十进制数转换为二进制数的过程中，也可以采用十六进制数作为中间过渡。例如，将 $(725)_{10}$ 转换为二进制数，即由

16 | 725

16 | 45

16 | 2

..... 余5

.....余13

..... 余2

.....最低位 b_0

b_1

最高位 b_2

0

可得转换结果为 $(725)_{10} = (2D5)_{16} = (1011010101)_2$

2) 小数部分。先乘 2 取整，即把要转换的十进制小数乘以二进制的基数 2，积的整数部分取出作为小数点后二进制的最高位。然后继续将取整后积的小数部分乘以 2，再取积的整数部分作为二进制小数的次高位……，这样依次相乘，直至积的小数部分为 0 或达到所需精度为止。最后，所得整数部分按先高位后低位顺序排列，即为二进制小数部分的结果。

例如，将 $(0.8125)_{10}$ 转换为二进制数，即由

0.8125

×

2

1.6250

.....1.....

0.6250

×

2

1.2500

.....1.....

0.2500

×

2

0.5000

.....0.....

0.5000

×

2

1.0000

.....1.....

整数部分

最高位 b_{-1}

b_{-2}

b_{-3}

最低位 b_{-4}

可得转换结果为 $(0.8125)_{10} = (0.1101)_2$

1.1.3 二进制代码

用二进制表示文字、符号等信息的过程称为编码。编码之后的二进制数称为二进制代码。数码的内涵因被编码的对象不同而有所差别。生活中的身份证号、邮政编码、火车车次、飞机航班、学生学号等都是编码的应用。在实际生活中，人们常采用十进制编码，而在数字系统中则采用的是二进制编码。

二进制码十进制 (Binary Coded Decimal, BCD) 是用二进制编码的形式表示十进制数。十进制数有 10 个数字符号，需用 4 位二进制数码表示。4 位二进制数码有 16 种组合，而表示十进制数的 0~9 只需要 10 种组合，因此用 4 位二进制数码表示十进制数有多种选取方式。常用的 BCD 码如表 1-3 所示。

表 1-3 常用 BCD 码

十进制数	8421BCD 码	余 3 码	格雷码
0	0000	0011	0000
1	0001	0100	0001
2	0010	0101	0011
3	0011	0110	0010
4	0100	0111	0110
5	0101	1000	1110
6	0110	1001	1010
7	0111	1010	1000
8	1000	1011	1100
9	1001	1100	0100

例如, 将 $(725)_{10}$ 表示成 8421BCD 码为 $(0111\ 0010\ 0101)_{8421BCD}$ 。

8421BCD 码用 4 位二进制码表示 1 位十进制数, 每位二进制数都有固定的位权, 所以这种代码称为有权码, 8421BCD 码由此得名。显然, 在 8421BCD 码中 1010 ~ 1111 这 6 个代码不存在, 这些代码被称为“伪码”。

余 3 码的编码规律是: 余 3 码总是比 8421BCD 码对应的十进制数多 3。例如, $(0100)_{8421BCD} = (0111)_{\text{余}3}$ 。

从表 1-3 中还可以看出, 格雷码是任意两组相邻代码之间只有一位不同, 而且整个 4 位二进制码的首、尾之间也只相差 1 位二进制码, 所以格雷码又称“循环”码。译码时不会发生第 2 章所述的竞争冒险现象, 因而常用于模拟量与数字量的转换。当模拟量发生微小变化而可能引起数字量发生变化时, 格雷码仅改变一位, 与其他代码同时改变两位或多位的情况相比更为可靠, 即可减少出错的可能性。

1.2 基本逻辑与逻辑门电路

1.2.1 3 种最基本的逻辑运算和复合逻辑运算

1.2.1.1 3 种基本逻辑运算

与、或、非是 3 种最基本的逻辑运算。图 1-1 给出了 3 种指示灯的控制电路。如果把开关是否闭合作为条件 (逻辑变量), 把灯的亮灭作为结果 (逻辑函数), 那么这 3 个电路表示了与、或、非 3 种不同的因果逻辑关系。

1. 与运算 与运算的逻辑关系是: 只有决定事物结果的全部条件同时具备时, 结果才会发生。如果以 1 表示图 1-1 中开关闭合或灯亮, 以 0 表示开关断开或灯灭, 那么图 1-1a 表明, 只有逻辑变量 A 和 B 同时为 1 时, 逻辑函数的输出 F 才为 1。与的运算符是 “ $\cdot$ ”, 书写时可省略。实现逻辑与的电路称为与门, 其逻辑表达式为 $F = AB$, 逻辑符号如表 1-4 所示。与门可以有多个输入变量, $F = ABC\cdots$ 。

2. 或运算 或运算的逻辑关系是: 在决定事物结果的诸条件中只要有一个满足, 结果就会发生。如图 1-1b 中逻辑变量 A 或 B 任一为 1 时, 逻辑函数的输出 F 即为 1。或的运算符是 “ $+$ ”。实现逻辑或的电路称为或门, 其逻辑表达式为 $F = A + B$, 逻辑符号如表 1-4 所示。或门可以有多个输入变量, $F = A + B + C + D + \cdots$ 。

3. 非运算 非运算的逻辑关系是: 条件具备时, 结果不发生; 条件不具备时, 则结果一定发生。如图 1-1c 逻辑变量 A 为 1 时, 逻辑函数的输出 F 为 0; 逻辑变量 A 为 0 时, 逻辑函数的输出 F 为 1。非的运算符是逻辑变量上方有符号 “ $-$ ”, 称为 “ A 非”。实现逻辑非的电路称为非门, 其逻辑表达式为 $F = \bar{A}$, 逻辑符号如表 1-4 所示。

1.2.1.2 复合逻辑运算

实际的逻辑问题往往比较复杂, 不过它们都可以在与、或、非的基础上加以组合来实现。最常见的复合逻辑运算有与非、或非、与或非、异或、同或等。表 1-4 列出了几种基本的逻辑运算, 其中后 5 种是与、或、非运算的组合形式。

1. 与非、或非运算 由表 1-4 的真值表看出: 与非运算是先与后非; 或非运算是先或后非。实现与非、或非运算的电路为与非门、或非门, 其逻辑符号如表 1-4 所示。

2. 异或、同或运算 异或运算的逻辑关系为 $F = A \oplus B = \bar{A}B + A\bar{B}$, 可见, 只有逻辑变量 A 和 B 的取值不同时, 逻辑函数的输出才为 1。异或的运算符是 “ $\oplus$ ”。实现异或运算的电

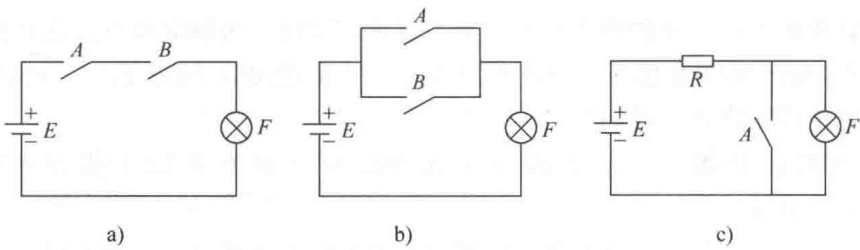


图 1-1 3 种指示灯的控制电路
a) 与电路 b) 或电路 c) 非电路

路称为异或门，其逻辑符号如表 1-4 所示。

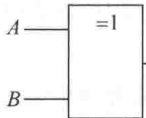
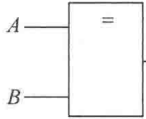
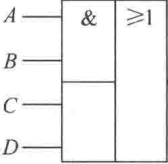
同或运算的逻辑关系为 $F = A \odot B = \overline{A} \overline{B} + AB = \overline{A \oplus B}$ ，可见，只有逻辑变量 A 和 B 的取值相同时，逻辑函数的输出才为 1。同或的运算符是 “ $\odot$ ”。实现同或运算的电路称为同或门，其逻辑符号如表 1-4 所示。对于两个输入变量的同或门和异或门，由真值表可以推出同或等于异或的非。

3. 与或非运算 与或非运算的顺序为先与再或最后取非。实现与或非运算的电路称为与或非门，其逻辑符号如表 1-4 所示。

表 1-4 部分复合逻辑运算表

表示方法 逻辑运算	逻辑符号	表达式	真值表			基本运算规则
			A	B	F	
与		$F = A \cdot B = AB$	0	0	0	$A \cdot A = A$
			0	1	0	$A \cdot \overline{A} = 0$
			1	0	0	$A \cdot 1 = A$
			1	1	1	$A \cdot 0 = 0$
或		$F = A + B$	0	0	0	$A + A = A$
			0	1	1	$A + \overline{A} = 1$
			1	0	1	$A + 1 = 1$
			1	1	1	$A + 0 = A$
非		$F = \overline{A}$	0	—	1	$\overline{\overline{A}} = A$
			1	—	0	
与非		$F = \overline{AB}$	0	0	1	$\overline{AB} = \overline{A} + \overline{B}$
			0	1	1	
			1	0	1	
			1	1	0	
或非		$F = \overline{A + B}$	0	0	1	$\overline{A + B} = \overline{A} \overline{B}$
			0	1	0	
			1	0	0	
			1	1	0	

(续)

表示方法 逻辑运算	逻辑符号	表达式	真值表			基本运算规则
			A	B	F	
异或		$F = A \oplus B$	0	0	0	$A \oplus 0 = A$
			0	1	1	$A \oplus 1 = \bar{A}$
			1	0	1	$A \oplus A = 0$
			1	1	0	$A \oplus \bar{A} = 1$
同或		$F = A \odot B$	0	0	1	$A \odot 0 = \bar{A}$
			0	1	0	$A \odot 1 = A$
			1	0	0	$A \odot A = 1$
			1	1	1	$A \odot \bar{A} = 0$
与或非		$F = \overline{AB + CD}$	略			

1.2.2 逻辑函数的公式、定理

1. 逻辑代数基本公式（9 个）

1) 与运算：

$A \cdot 0 = 0; \quad A \cdot 1 = A; \quad A \cdot A = A; \quad A \cdot \bar{A} = 0$

2) 或运算：

$A + 0 = A; \quad A + 1 = 1; \quad A + A = A; \quad A + \bar{A} = 1$

非运算：

$\bar{\bar{A}} = A$

2. 逻辑代数常用公式 这里仅列 4 个。

1) $A + AB = A$

2) $A + \bar{A}B = A + B$

3) $AB + \bar{A}B = B$

4) $AB + \bar{A}C + BC = AB + \bar{A}C$

3. 逻辑代数定律

1) 交换律：

$A \cdot B = B \cdot A$

$A + B = B + A$

2) 结合律：

$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$

$A + (B + C) = (A + B) + C$

3) 分配律：

$A \cdot (B + C) = AB + AC$

$A + BC = (A + B)(A + C)$

4) 反演律（摩根公式）：

$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$

$\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$

4. 代入定理 在任何一个包含变量 A 的逻辑等式中, 若以另一个逻辑式代换原式中所有 A , 所得等式仍然成立, 反之亦然。

以上公式、定律和定理都可以得到证明。有一种最直接的证明方法就是将变量的可能取值组合一一带入验证, 而一旦证明了某几个公式, 就可以依据这几个已经证明了的公式推导出其他全部公式。

上述公式、定律和定理在数字电路的分析中主要用于逻辑运算及逻辑函数式的变换和化简。

例 1-1 已知 $Y = \overline{A}B + A\overline{B}$, 求 $\overline{Y}$ 。

解: 根据代入定理, 可将 $\overline{A}B$ 、 $A\overline{B}$ 分别代换反演律中的两个变量, 再利用反演律及其他有关公式, 逐步演算、变换:

$$\begin{aligned}\overline{Y} &= \overline{\overline{A}B + A\overline{B}} \\ &= \overline{\overline{A}B} \cdot \overline{A\overline{B}} \\ &= (\overline{\overline{A}} + \overline{B}) \cdot (\overline{A} + \overline{\overline{B}}) \\ &= (A + \overline{B}) \cdot (\overline{A} + B) \\ &= \overline{A}A + \overline{A}\overline{B} + AB + \overline{B}B \\ &= 0 + \overline{A}\overline{B} + AB + 0 \\ &= \overline{A}\overline{B} + AB\end{aligned}$$

由此可见, 偶数个变量的异或运算的非便是同或运算, 异或与同或互补。

用 Multisim 11 仿真验证: 图 1-2 为此题的仿真电路及结果。

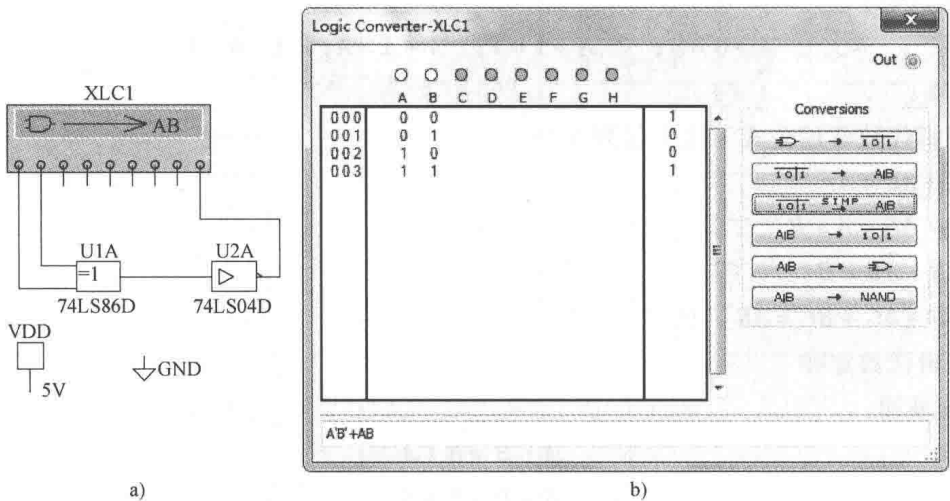


图 1-2 例 1-1 的仿真电路及结果
a) 仿真电路 b) 结果

例 1-2 利用公式化简逻辑式 $Y = A\overline{B} + ACD + \overline{A}\overline{B} + \overline{A}CD$ 。

解:

$$\begin{aligned}Y &= A\overline{B} + ACD + \overline{A}\overline{B} + \overline{A}CD \\ &= A(\overline{B} + CD) + \overline{A}(\overline{B} + CD) \\ &= (\overline{B} + CD)(A + \overline{A}) \\ &= \overline{B} + CD\end{aligned}$$

用 Multisim 11 仿真验证:

首先调出逻辑转换仪，双击打开转换窗口，并在其中输入 $A\overline{B} + ACD + \overline{A}\overline{B} + \overline{A}CD$ （在 Multisim 11 中，某逻辑自变量的非用自变量右上角加 “'” 来表示。如： $\overline{B}$ 用 B' 表示），单击逻辑式转换成真值表功能的按钮，将逻辑式转换成真值表。然后再单击真值表转换成化简后的逻辑式的按钮，得到了最简逻辑式，如图 1-3 所示。

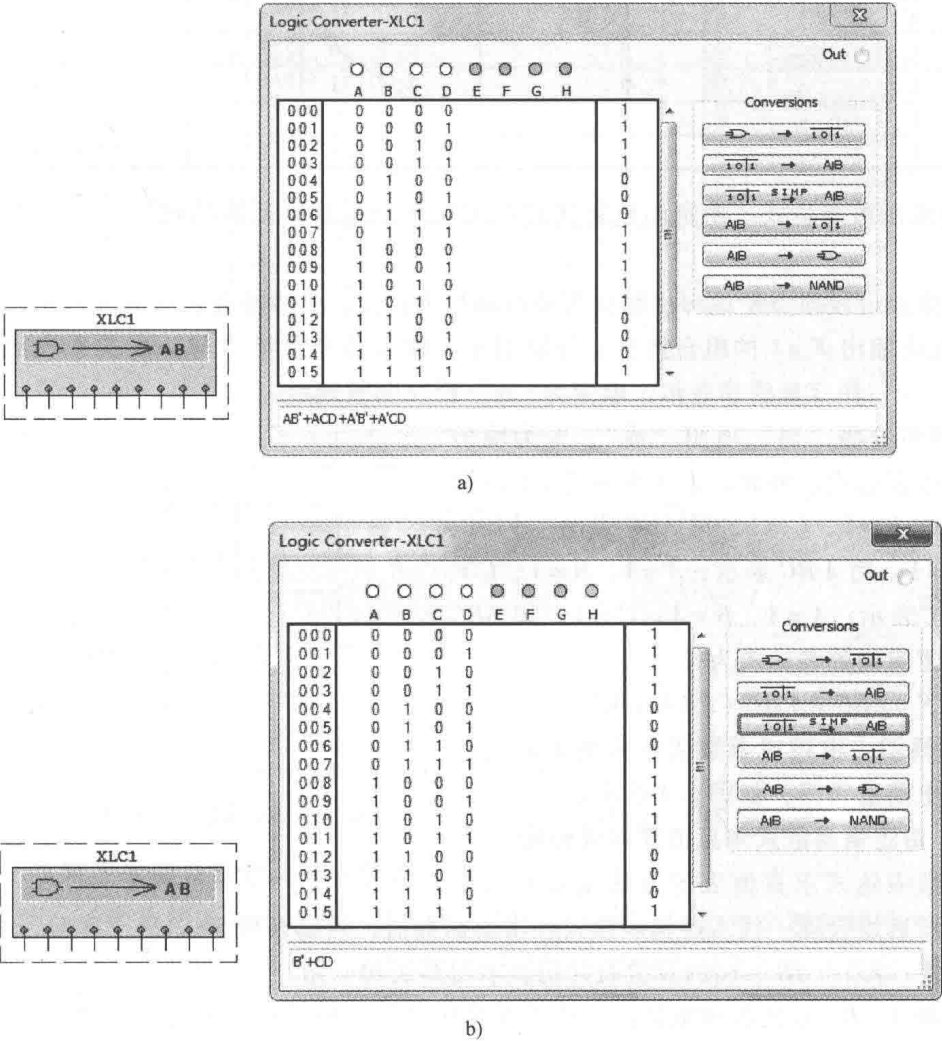


图 1-3 例 1-2 的仿真结果

a) 由逻辑式转换成真值表 b) 由真值表转换成最简逻辑式

1.2.3 逻辑函数的表示方法及相互转换

常用逻辑函数的表示方法有：真值表、逻辑函数表达式、卡诺图、逻辑图和波形图。逻辑函数的几种表示方法可以相互转换。

1.2.3.1 由真值表求逻辑表达式和逻辑图

1. 真值表 真值表是由逻辑变量所有可能取值的组合及其对应函数值所构成的表格。

例 1-3 某产品有 3 项指标，当两项及以上指标达到标准时，则此产品为合格产品，其他情况均为不合格。画出筛选此产品为合格产品的逻辑电路。

解：设此产品的 3 项指标为 A 、 B 、 C ，达标为 1，不达标为 0。设 F 为筛选结果， $F = 1$ 为合格， $F = 0$ 为不合格。根据题意列出真值表，如表 1-5 所示。

表 1-5 某产品筛选电路真值表

A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

2. 逻辑函数表达式 逻辑函数表达式是用输入变量逻辑运算的代数组组合来表示的逻辑函数。

由真值表可以很方便地写出输出变量的函数表达式。其方法是：

1) 先将输出 $F=1$ 的组合挑出，分别用相应输入各变量相“与”的关系表示，输入变量取值为“0”用变量的非表示，取值为“1”用原变量表示。

2) 再将这些“与”项相“或”，即为输出的逻辑函数表达式。例如，表 1-5 中 $F=1$ 的组合有 $A=0、B=1、C=1$ ，用 $\bar{A}BC$ 表示； $A=1、B=0、C=1$ ，用 $A\bar{B}C$ 表示； $A=1、B=1、C=0$ ，用 $AB\bar{C}$ 表示； $A=1、B=1、C=1$ ，用 ABC 表示。其逻辑函数表达式为

$$F = \bar{A}BC + A\bar{B}C + AB\bar{C} + ABC$$

3. 逻辑图 由逻辑函数表达式画出此合格产品筛选电路逻辑图，如图 1-4 所示。

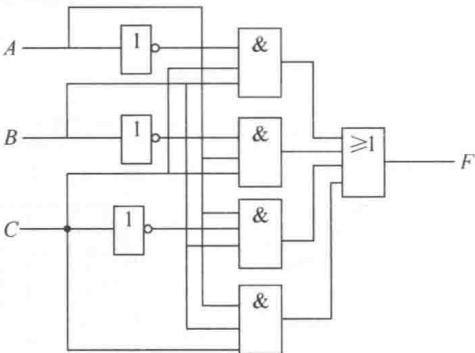


图 1-4 某合格产品筛选电路逻辑图

1.2.3.2 由逻辑函数式求真值表和逻辑图

由函数表达式求真值表的方法是将输入变量取值的所有组合逐一代入逻辑函数式，求出函数值，列成表格。

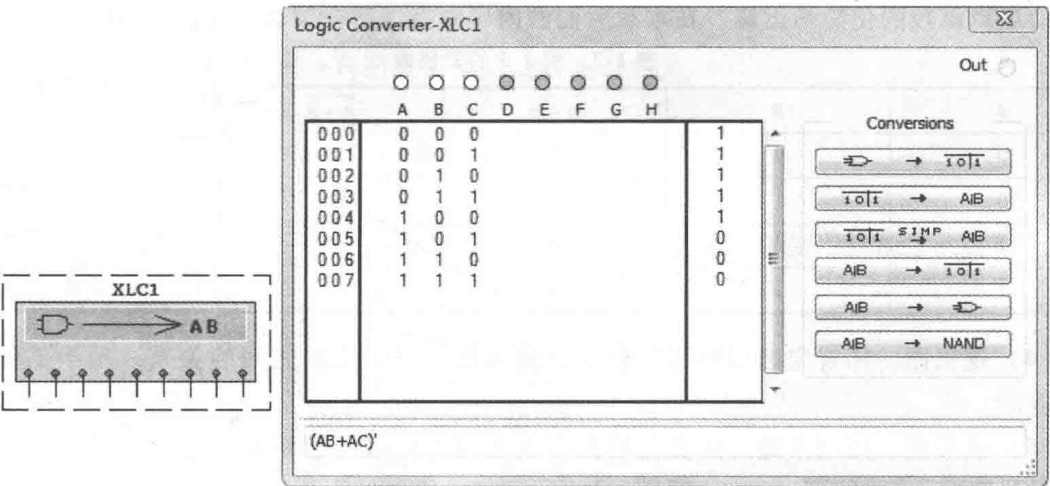
例 1-4 求 $Y = \overline{AB + AC}$ 的真值表并仿真求得其逻辑电路。

解：将 $A、B、C$ 的各种取值逐一代入 Y 式中计算，将计算结果列表，如表 1-6 所示。

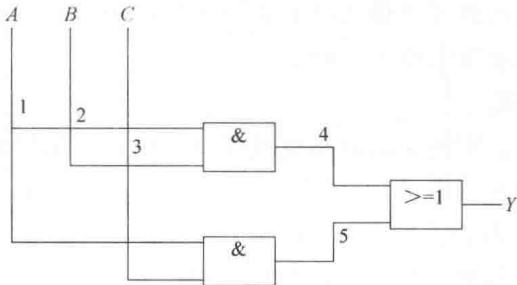
用 Multisim 11 对其仿真，得到相应的真值表和逻辑图，如图 1-5 所示。

表 1-6 $Y = \overline{AB + AC}$ 的真值表

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0



a)



b)

图 1-5 例 1-4 的仿真结果

a) $Y = \overline{AB + AC}$ 的真值表 b) $Y = \overline{AB + AC}$ 的电路逻辑图

1.2.3.3 由逻辑图求逻辑函数式和真值表

由逻辑图写函数表达式的方法是：从输入端到输出端逐级写出每个逻辑符号的输出逻辑函数表达式，而最终得到的逻辑函数表达式为最后的输出变量与最初的输入变量间的逻辑函数表达式。

例 1-5 写出图 1-6 的逻辑函数表达式及真值表。

解：从输入端 A、B 逐级写出输出端的逻辑函数表达式，得到 $Y = \overline{A+B} + \overline{\overline{A+B}}$ 。其真值表如表 1-7 所示。

总结各种逻辑表示方法的特点如下：

- (1) 真值表。以表格形式展示了各输入逻辑变量取值的组合与函数值的关系，直观、明了。在把实际问题抽象为数字逻辑问题时往往首先列出真值表。但变量较多时，用真值表表示较烦琐（ n 变量有 2^n 种取值组合）。
- (2) 逻辑函数表达式。用输入变量逻辑运算的代数组合表示逻辑函数。对变量多、关系复杂的函数是一种简洁的表示方法，便于逻辑函数的运算、变换和化简。
- (3) 卡诺图。以方块图的形式展示逻辑函数的最小项，直观、明了。常用于变量数小

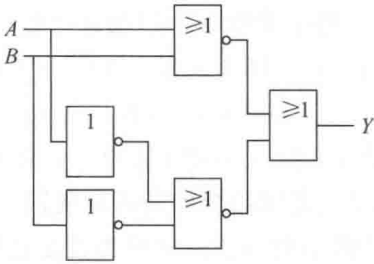


图 1-6 例 1-5 的逻辑图