



高职高专“十一五”规划教材

数字电子电路及其 EDA技术

王艳芬 主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

数字电子电路及其 EDA 技术

王艳芬 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书突出了高职高专特色,在广泛吸收教学经验和教学成果的基础上,从实际应用角度出发,结合高职课程体系重新整合,突出重点,以够用实用为原则,在课程内容上,围绕数字电子技术、EDA技术与数字系统设计三大主题,体现了“数字电子技术应用”和“数字系统 EDA 设计”的核心技能。

全书共分 9 个课题,包括数字电路的认识、EDA 技术入门、VHDL 硬件描述语言、组合逻辑电路分析与设计、触发器及其应用、时序逻辑电路分析与设计、半导体存储器、A/D、D/A 转换、数字电路及其 EDA 技术课程设计等。每个课题前都有一个实训,教师可以在课题讲解前进行演示操作,以引发学生的学习兴趣,在课题内容学习后,又可作为学生的实操技能训练项目。每个课题后还附有思考与练习题。

本书可作为高职、高专与成人教育电子技术、电子信息、机电类相关专业教材,也可供有关专业人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电子电路及其 EDA 技术/王艳芬主编. —北京:化学工业出版社,2007.7
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-00671-4

I. 数… II. 王… III. ①数字电路-电路设计:计算机辅助设计-高等学校:技术学院-教材②电子电路-电路设计:计算机辅助设计-高等学校:技术学院-教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 096049 号

责任编辑:廉 静 张建茹
责任校对:李 林

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装:北京市兴顺印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{3}{4}$ 字数 365 千字 2007 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:24.00 元

版权所有 违者必究

前 言

根据高等职业教育培养目标的要求, 高职培养的人才必须具有大学专科的理论基础, 并有较强的本专业技术应用的技能。高职教育培养的人才面向基层、面向生产第一线的实用人才。这类人才不同于将学科体系转化为图纸和设计方案的工程技术人员, 而主要是如何把方案和图纸转化为实物和产品的实施型高级技术人才。因此, 课程内容需要按照培养目标来制定。

由于数字电子技术涉及的各个领域发展非常迅速, 数字电子技术教材的基本内容也必须逐步更新。特别是在大规模集成电路被广泛采用的今天, 数字电子技术正朝着专用电子集成电路方向发展, 以至于向硬件、软件合为一体的各种电子系统集成方向发展, 以硬件电路设计为主的传统设计方向也向器件内部资源及外部引线端子功能加以利用的方向转化。只有培养学生思考、会学习, 才能跟上飞速发展的时代节拍。

高职高专教育以就业为导向、以学生为主体的指导思想, 必然要在掌握数字电子技术的基本理论、方法和技能的基础上, 把教学的重点从以逻辑门和触发器等通用器件为载体、以真值表和逻辑方程为表达方式和依靠手工调试的传统数字电路设计方法向以可编程逻辑器件为载体、以硬件描述语言为表达方式、以 EDA 技术为调试手段的现代数字系统设计方法转变。而将 EDA 技术引入高等职业技术教育的数字电子技术课程教学中, 并将二者融为一体是编写此书的目的。

本书介绍了数字电子技术和 EDA 技术的相关知识, 并结合实例讲解如何利用 EDA 工具进行数字电路及数字系统的设计。各部分内容均以高等职业教学中的实际技能要求为主旨, 内容简明扼要, 突出重点。编写方法上注重发挥实例教学的优势, 引入众多实例和操作实训, 便于读者对全书内容的融会贯通, 加深理解。其特色主要有如下几点。

1. 将数字电子技术与 EDA 技术融为一体。数字电子技术是电类相关专业的必修课, 也是电子技术未来发展的趋势, 而基于 EDA (电子设计自动化) 技术的设计方法正在成为现代数字系统设计的主流。作为即将成为工程技术人员的职业技术学院的电类相关专业的学生只懂电子技术的基本理论和方法而不懂现代电子技术的设计方法, 无疑对就业和未来的发展潜力都是一种阻碍。如果作为两个课程来分别学习则又不适应高职高专的学制长度 (尤其是未来的两年制)。因此, 将数字电子技术与 EDA 技术有机地融为一体是高职高专教育目标和思想的要求, 也是未来发展的需求。

2. 将理论教学与实践教学融为一体。本书本着教、学、做相结合的教学模式, 每个课题均从应用实例出发, 由实际问题入手, 通过技能训练引入相关知识和理论, 将理论寓于实践, 依托实践, 再用理论指导实践, 达到技能的形成。

3. 重视应用。对于各种数字电路的器件只着重介绍外特性以及使用方法和设计方法, 而内部结构和电路原理则不做太多阐述。

4. 课程的整体设计上, 强调与工程实践的联系, 使学生们在学习了一定的知识、掌握了相关的技能后, 能够应用于工程中。

本书课题一、二、六、九由王艳芬编写; 课题三由姜志鹏编写; 课题四、五由谢燕美、侯益坤编写; 课题七、八由杨宏丽编写。全书由王艳芬统稿。茹燕婷、何素等人在本书的编写过程中做了大量的文字工作, 在此表示衷心的感谢!

本书 EDA 实训中使用的实验箱是由武汉恒科有限公司提供的 HK-EDA 实验箱。

由于编者水平有限, 书中疏漏之处在所难免, 恳请读者批评指正。对于选用本教材的教师, 我们可免费提供电子版教案, 敬请登录 <http://www.cip.com.cn/cbs/electronic/index.htm> 下载。

编者

2007 年 6 月

目 录

课题一 数字电路的认识	1	3.1.1 VHDL 的特点	61
实训 1 楼梯照明电路的逻辑控制	1	3.1.2 VHDL 程序的一般结构	61
1.1 数字电路	2	3.2 VHDL 语言的程序结构	62
1.1.1 数字信号与数字电路	2	3.2.1 实体 (Entity)	62
1.1.2 数字电路的特点与分类	3	3.2.2 结构体	64
1.2 数制及码制	3	3.2.3 程序包、库及配置	72
1.2.1 数制及其转换	3	3.3 VHDL 的常用语句	75
1.2.2 几种常用编码	5	3.3.1 并行语句	75
1.3 逻辑事件与逻辑代数	6	3.3.2 顺序语句	83
1.3.1 基本逻辑事件的表示方法	6	3.4 VHDL 语言的数据类型及运算	
1.3.2 逻辑变量与逻辑函数	8	操作符	86
1.3.3 逻辑函数的化简	12	3.4.1 VHDL 语言的客体及其	
1.4 逻辑门电路	20	分类	86
1.4.1 基本门电路	21	3.4.2 VHDL 语言的数据类型	88
1.4.2 不同系列门电路	24	3.4.3 VHDL 语言的运算操作符	91
1.4.3 门电路综合应用	25	思考与练习	95
思考与练习	26	课题四 组合逻辑电路分析与设计	97
课题二 EDA 技术入门	28	实训 4 四位 BCD 译码器的设计应用	97
实训 2 基本门电路的 EDA 设计与		4.1 组合逻辑电路的分析和设计	
分析	28	方法	101
2.1 EDA 技术	33	4.1.1 组合逻辑电路的分析方法	102
2.1.1 概述	33	4.1.2 组合逻辑电路的传统设计	
2.1.2 EDA 技术的基本特征	33	方法	103
2.2 可编程逻辑器件	34	4.1.3 组合逻辑电路的 EDA 设计	
2.2.1 简单可编程逻辑器件	34	方法	104
2.2.2 高密度可编程逻辑器件	36	4.2 集成组合逻辑电路分析与设计	104
2.2.3 Altera 公司的可编程逻辑		4.2.1 编码器	104
器件	40	4.2.2 译码器及显示电路	107
2.3 MAX+plus II 开发软件	42	4.2.3 数据选择器	111
2.3.1 MAX+plus II 软件介绍	42	4.2.4 全加器	112
2.3.2 MAX+plus II 软件安装	42	4.3 常用集成组合电路应用实例	114
2.3.3 MAX+plus II 设计向导	45	4.3.1 编码器的应用	114
思考与练习	56	4.3.2 译码器的应用	116
课题三 VHDL 硬件描述语言	57	4.3.3 数据选择器的应用	116
实训 3 数据分配器的 EDA 设计	57	4.4 常用集成电路简介	117
3.1 VHDL 概述	61	思考与练习	118

课题五 触发器及其应用 120

实训 5 JK 触发器的 EDA 设计分析 120

5.1 触发器概述 126

5.1.1 触发器的基本电路 126

5.1.2 触发器的触发方式 129

5.1.3 各种逻辑功能的触发器 130

5.2 触发器间的相互转换 133

5.3 触发器的应用 134

5.3.1 触发器构成寄存器 134

5.3.2 触发器构成分频电路 135

5.4 555 定时器及其应用 135

5.4.1 集成 555 定时器 136

5.4.2 555 定时器的应用 136

5.5 常用触发器集成电路简介 139

思考与练习 139

课题六 时序逻辑电路分析与设计 141

实训 6 基本计数器的设计应用 141

6.1 时序逻辑电路的一般分析方法 144

6.1.1 时序逻辑电路的特点 144

6.1.2 时序电路的分析方法与步骤 145

6.1.3 时序逻辑电路分析实例 145

6.2 计数器 148

6.2.1 计数器及其表示方法 148

6.2.2 计数器应用实例 155

6.2.3 计数器的 EDA 设计 157

6.2.4 常用 TTL 集成计数器简介 166

6.3 寄存器 167

6.3.1 寄存器的功能和分类 167

6.3.2 寄存器应用实例 169

6.3.3 寄存器的 EDA 设计 171

6.3.4 寄存器集成电路简介 180

思考与练习 181

课题七 半导体存储器 183

实训 7 EPROM 的固化与擦除 183

7.1 概述 185

7.2 存储器的种类 185

7.2.1 随机存取存储器 RAM 185

7.2.2 只读存储器 ROM 189

7.3 存储器的应用 193

7.4 存储器常用芯片简介 194

思考与练习 195

课题八 A/D、D/A 转换 197

实训 8 加法计数器 D/A 转换显示实验 197

8.1 A/D 转换的基本原理和类型 198

8.1.1 A/D 转换的基本原理 199

8.1.2 A/D 转换器的类型 200

8.2 D/A 转换的基本原理和类型 203

8.2.1 D/A 转换的基本原理 203

8.2.2 D/A 转换器的类型 203

8.3 常用集成 ADC 简介 206

8.3.1 ADC0809 206

8.3.2 MC14433 207

8.3.3 ADC 的应用实例 209

8.4 常用集成 DAC 简介 210

8.4.1 DAC0830 系列 210

8.4.2 10 位 CMOS DAC-AD7533 212

思考与练习 212

课题九 数字电路及其 EDA 技术课程

设计 213

实训 9 数字系统设计实例 213

9.1 数字频率计的设计与制作 213

9.1.1 测频原理 213

9.1.2 频率计实现 213

9.1.3 VHDL 程序 213

9.1.4 仿真结果 214

9.2 交通灯控制器 214

9.2.1 实训目标 214

9.2.2 交通灯控制器的实现 215

9.3 实用多功能电子表 216

9.3.1 设计任务 216

9.3.2 设计思路 216

9.3.3 数字钟电路 216

9.3.4 源程序 217

9.4 音乐发生器 222

9.4.1 音名与频率的关系 222

9.4.2 音长的控制 223

9.4.3 演奏时著名的动态显示 223

9.4.4 VHDL 程序 224

9.4.5 仿真结果 227

参考文献 228

课题一 数字电路的认识

实训1 楼梯照明电路的逻辑控制

设计一个楼梯照明电路，装在一、二、三楼上的开关都能对楼梯上的同一电灯进行开关控制。合理选择器件完成设计。

(1) 实训目的

- ① 学会组合逻辑电路的设计方法。
- ② 熟悉 74 系列通用逻辑芯片的功能。
- ③ 学会数字电路的调试方法。

(2) 实训前准备

- ① 复习组合逻辑电路的设计方法。
- ② 熟悉逻辑门电路的种类和功能。
- ③ 实训器材准备：数字电路板、导线若干。

(3) 实训内容

① 分析设计要求，列出真值表。设 A 、 B 、 C 分别代表在一、二、三楼的三个开关，规定开关向上为 1，开关向下为 0； Y 代表照明灯，灯亮为 1，灯暗为 0。根据题意列出真值表，如表 1-1 所示。

表 1-1 照明电路的真值表

输 入			输 出
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

② 根据真值表，写出逻辑函数表达式。

$$Y = \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}B\bar{C} + A\bar{B}\bar{C} + ABC$$

③ 将输出逻辑函数表达式化简或转化形式。

$$Y = \bar{A}(\bar{B}C + B\bar{C}) + A(\bar{B}\bar{C} + BC) = A \oplus B \oplus C$$

④ 根据输出逻辑函数画逻辑图，如图 1-1 所示。

⑤ 实验台上搭建电路。将输入变量 A 、 B 、 C 分别接到数字逻辑开关 K_1 （对应信号灯

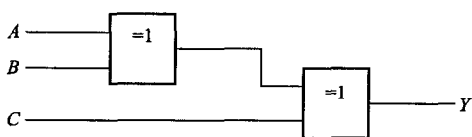


图 1-1 照明电路的逻辑图

LED1)、 K_2 （对应信号灯 LED2）、 K_3 （对应信号灯 LED3）接线端上，输出端 Y 接到“电位显示”接线端上。将面包板的 U_{CC} 和“地”分别接到实验箱的 +5V 与“地”的接线柱上。检查无误后接通电源。

⑥ 将输入变量 A、B、C 的状态按表 1-2 所示的要求变化，观察“电位显示”输出端的变化，并将结果记录到表 1-2 中。

表 1-2 照明电路实训结果

输 入			输 出
LED1	LED2	LED3	电位输出
暗	暗	暗	
暗	暗	亮	
暗	亮	暗	
暗	亮	亮	
亮	暗	暗	
亮	暗	亮	
亮	亮	暗	
亮	亮	亮	

(4) 实训报告

- ① 写出设计过程。
- ② 整理实训记录表，分析实训结果。
- ③ 画出用与非门、或非门和非门实现该电路的逻辑图。

1.1 数字电路

1.1.1 数字信号与数字电路

在模拟电子技术中，被传递、加工和处理的信号是模拟信号，这类信号的特点是在时间和幅度上都是连续变化的，如广播电视中传送的各种语言信号和图像信号，如图 1-2(a) 所示。用于传递、加工和处理模拟信号的电路称作模拟电路。

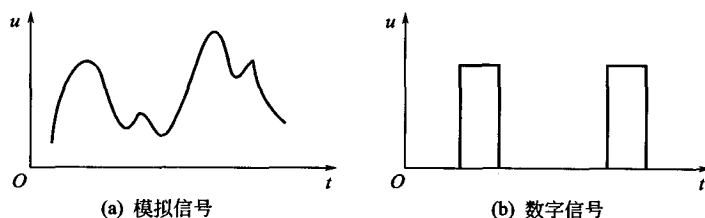


图 1-2 模拟信号和数字信号

在数字电子技术中，被传递、加工和处理的信号是数字信号，这类信号的特点是在时间和幅度上都是断续变化的，这类信号只在某些特定时间内出现，如图 1-2(b) 所示。用于传递、加工和处理数字信号的电路，称作数字电路。

1.1.2 数字电路的特点与分类

(1) 数字电路的特点

数字电路主要研究输出和输入信号之间的对应逻辑关系，其分析的主要工具是逻辑代数。因此数字电路又称作逻辑电路。与模拟电路相比，数字电路主要有如下特点。

① 便于高度集成化。由于数字电路采用二进制代码，一个事物凡具有两个对立状态并可构成电路，都可用 0 和 1 来表示这两个状态，因此基本单元电路的结构简单，允许电路参数有较大的离散性，有利于将众多的基本单元电路集成在同一硅片上并进行批量生产。

② 工作可靠性高、抗干扰能力强。数字信号用 1 和 0 来表示信号的有和无，数字电路辨别信号的有和无是很容易做到的，从而大大提高了电路的工作可靠性。同时，数字信号不易受到噪声干扰。因此，它的抗干扰能力很强。数字信号 1 和 0 除了表示为逻辑状态进行逻辑运算。还可用来表示二进制数符，进行算术运算。

③ 数字信息便于长期保存。借助磁盘、光盘等媒体可将数字信息长期保存。

④ 数字集成电路产品系列多、通用性强、成本低。

⑤ 保密性好。数字信息容易进行加密处理，不易被窃取。

(2) 数字电路的分类

根据电路结构的不同，可分为分立元件电路和集成电路两大类。分立元件电路是将晶体管、电阻、电容等元器件用导线在线路板上连接起来的电路；而集成电路则是将上述元器件和导线通过半导体制造工艺做在一块硅片上而成为一个不可分割的整体电路。集成电路体积小、使用方便，已得到极为广泛的应用。

根据一块半导体芯片上包含元器件的多少，可分为小规模、中规模、大规模和超大规模集成电路。一般认为，包含的元器件在 100 个以内的称为小规模集成电路（简称 SSI）；包含 100~1000 个的称为中规模集成电路（简称 MSI）；包含 1000~100000 个的称为大规模集成电路（简称 LSI）；包含 100000 个以上的称为超大规模集成电路（简称 VLSI）。

根据半导体的导电类型不同，可分为单极型电路和双极型电路。以单极型 MOS 管作为基本器件的数字电路，称为单极型电路，如 NMOS、PMOS、CMOS 集成电路等；以双极型晶体管作为基本器件的数字电路，称为双极型电路，如 TTL、ECL 集成电路等。

1.2 数制及码制

1.2.1 数制及其转换

所谓数制就是计数的方法，它是进位计数制的简称。在数字电路中，常用的数制有十进制、二进制、八进制和十六进制等。

(1) 十进制

十进制是以 10 为基数的计数体制。在十进制中，每一位有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数码，它的进位规律是逢十进一，即 $1+9=10$ 。在十进制中，数码所处的位置不同时，它所代表的数值是不同的，如

$$(246.134)_{10} = 2 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2} + 4 \times 10^{-3}$$

上式称为十进制数的按权展开式。式中， 10^2 、 10^1 、 10^0 为整数部分百位、十位、个位的权，而 10^{-1} 、 10^{-2} 、 10^{-3} 为小数部分十分位、百分位和千分位的权，它们都是 10 的幂。数码与权的乘积，称为加权系数，因此，十进制数的数值为各位加权系数之和。

(2) 二进制、八进制和十六进制

二进制是以 2 为基数的计数体制。在二进制中，每位只有 0 和 1 两个数码，它的进位规律是逢二进一，即 $1+1=10$ 。在二进制数中，各位的权都是 2 的幂，如

$$(1001.01)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (9.25)_{10}$$

式中，整数部分的权分别为 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 ，小数部分的权分别为 2^{-1} 、 2^{-2} 。

八进制是以 8 为基数的计数体制，在八进制中，每位有 0、1、2、3、4、5、6、7 八个数码，它的进位规律是逢八进一，各位的权为 8 的幂。如八进制数 $(437.25)_8$ 可表示为

$$(437.25)_8 = 4 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 2 \times 8^{-1} + 5 \times 8^{-2} = (287.328125)_{10}$$

式中， 8^2 、 8^1 、 8^0 、 8^{-1} 、 8^{-2} 分别为八进制数各位的权。

十六进制是以 16 为基数的计数体制，在十六进制中，每位有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A(10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15) 十六个不同的数码，它的进位规律是逢十六进一，各位的权为 16 的幂。如十六进制数 $(3BE.C4)_{16}$ 可表示为

$$(3BE.C4)_{16} = 3 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 14 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1} + 4 \times 16^{-2} = (958.765625)_{10}$$

式中， 16^2 、 16^1 、 16^0 、 16^{-1} 、 16^{-2} 分别为十六进制数各位的权。表 1-3 中列出了十进制、二进制、八进制、十六进制不同数制的对照关系。

表 1-3 十进制、二进制、八进制、十六进制对照表

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0000	0	0	8	1000	10	8
1	0001	1	1	9	1001	11	9
2	0010	2	2	10	1010	12	A
3	0011	3	3	11	1011	13	B
4	0100	4	4	12	1100	14	C
5	0101	5	5	13	1101	15	D
6	0110	6	6	14	1110	16	E
7	0111	7	7	15	1111	17	F

(3) 不同数制间的转换

① 非十进制转换为十进制 可以将非十进制数写为按权展开式，求出各加权系数之和，就是与其对应的十进制数。

【例 1-1】 $(11010.011)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$
 $= (26.375)_{10}$

【例 1-2】 $(172.01)_8 = 1 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 1 \times 8^{-2}$
 $= (122.015625)_{10}$

【例 1-3】 $(4C2)_{16} = 4 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 2 \times 16^0 = (1218)_{10}$

② 十进制转换为非十进制 整数部分转换可用“除基取余法”，即将原十进制数连续除以要转换的计数体制的基数，每次除完所得余数就作为要转换数的系数（数码）。先得到的余数为转换数的低位，后得到的为高位，直到除得的商为 0 为止。这种方法概括起来可说成“除基数，得余数，作系数，从低位，到高位”。符号 LSB 表示最低位，符号 MSB 表示最高位。

【例 1-4】 $(26)_{10} = ()_2 = ()_{16}$

商	0	1	3	6	13	26
余数	1	1	0	1	0	÷2

MSB

LSB

上算式中右侧表示原十进制数 26，欲转换为二进制数，需将 26 连除 2。左侧上方表示每次除的商，左侧下方表示每次所得的余数，从左至右，先得的余数为二进制数的最低位 LSB，最后得的余数为二进制数的最高位 MSB。所以 $(26)_{10} = (11010)_2$ 。

同理，欲将 $(26)_{10}$ 转换为十六进制数，将有

商	0	1	26
余数	1	A	$\div 16$

所以， $(26)_{10} = (1A)_{16}$ 。

小数部分转换可采用“乘基取整法”，即将原十进制纯小数乘以要转换的数制的基数，取其积的整数部分作系数，剩余的纯小数部分再乘基数，先得到的整数作数的高位 (MSB)，后得到的作低位 (LSB)，直到其纯小数部分为 0 或到一定精度为止。这种方法可概括地说：“乘基数，取整数，从高位，到低位”。

【例 1-5】 将 $(0.875)_{10}$ 转换为二进制数。

$$0.875 \times 2 = 1.750 \cdots 1 \quad \text{MSB}$$

$$0.750 \times 2 = 1.500 \cdots 1$$

$$0.500 \times 2 = 1.000 \cdots 1 \quad \text{LSB}$$

所以， $(0.875)_{10} = (0.111)_2$

③ 二进制与八进制、十六进制数间的转换 由于八进制的基数 $8=2^3$ ，十六进制的基数 $16=2^4$ ，每位八进制数码都可以用 3 位二进制数来表示，每位十六进制数码都可以用 4 位二进制数来表示。所以二进制数码转换为八进制数的方法是：整数部分从低位开始，每三位二进制数为一组，最后不足三位的，则在高位加 0 补足三位为止；小数点后的二进制数则从高位开始，每三位二进制数为一组，最后不足三位的，则在低位加 0 补足三位，然后写出每组对应的八进制数，按顺序排列即为所转换成的八进制数。同理，二进制数转换为十六进制数与上述方法一样，所不同的是每四位为一组。

$$(11100101.11101011)_2 = (011\ 100\ 101.111\ 010\ 110)_2 = (345.726)_8$$

$$(10011111011.111011)_2 = (0100\ 1111\ 1011.1110\ 1100)_2 = (4FB.EC)_{16}$$

上述方法是可逆的，将八进制数的每一位写成 3 位二进制数；十六进制数的每一位写成 4 位二进制数，左右顺序不变，就能从八进制、十六进制直接转化为二进制。

$$(745.361)_8 = (111\ 100\ 101.011\ 110\ 001)_2 = (111100101.011110001)_2$$

$$(3BE5.97D)_{16} = (0011\ 1011\ 1110\ 0101.1001\ 0111\ 1101)_2 = (11101111100101.100101111101)_2$$

1.2.2 几种常用编码

码制是指利用二进制代码表示数字或符号的编码方法。十进制数码 (0~9) 是不能在数字电路中运行的，必须将其转换为二进制数。用二进制码表示十进制码的编码方法称为二十进制码，即 BCD 码。常用 BCD 码的几种编码方法如表 1-4 所示。

将十进制数转换为 BCD 码，就是分别将十进制数中的每一位按顺序写为 4 位二进制码。

$$\text{如 } (129)_{10} = (0001\ 0010\ 1001)_{8421\text{BCD}}$$

BCD 码分为有权码和无权码。表 1-4 中的 8421 码、5421 码、2421 码为有权码，它们都是将自然 4 位二进制数的十六个组合舍去六个而得到的，只不过舍去的具体组合不同而已。被保留的十个组合的每一位都是有权的，它们的按权展开式的计算结果分别对应十个阿拉伯数字，所以也称为二十进制码。

表 1-4 常用的几种 BCD 码

十进制数码 \ CD 码	8421 码	5421 码	2421 码	余 3 码(无权码)	格雷码(无权码)
0	0000	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0001	0100	0001
2	0010	0010	0010	0101	0011
3	0011	0011	0011	0110	0010
4	0100	0100	0100	0111	0110
5	0101	1000	1011	1000	0111
6	0110	1001	1100	1001	0101
7	0111	1010	1101	1010	0100
8	1000	1011	1110	1011	1100
9	1001	1100	1111	1100	1000

在表 1-2 中, 余 3 码、格雷码为无权码。余 3 码是由 8421 码加 3 (0011) 得到的, 不能用权展开式来表示其转换关系。格雷码的特点是: 相邻的两个码组之间仅有一位不同, 因而常用于模拟量和数字量的转换, 在模拟量发生微小变化而可能引起数字量发生变化时, 格雷码只改变一位, 这样与其他码同时改变两位或多位的情况相比更为可靠, 即可减少转换和传输出错的可能性。另外还有其它编码方法, 如奇偶校验码、汉明码等。

国际上还规定了一些专门用于字母、专用符号、数字的处理和常用程序指令的二进制代码, 如 ISO 码、ASCII 码等, 读者可根据需要查阅有关书籍和手册。

1.3 逻辑事件与逻辑代数

1.3.1 基本逻辑事件的表示方法

(1) 非

图 1-3(a) 是一个简单的非逻辑电路。分析电路可以知道, 只有开关 A 断开的时候, 灯泡 F 才亮。它们之间的关系可以用图 1-3(b) 所示的状态图来表示。开关 A 有断开和闭合两种状态, 灯泡 F 有亮和灭两种状态。这两种对立的逻辑状态可以用“0”和“1”来表示, 但注意此时的“0”, “1”并不代表数量的大小, 只表示两种对立的状态。假设开关断开和灯泡不亮用“0”表示, 开关闭合和灯泡亮用“1”表示, 又可以得到图 1-3(c), 该图称为真值表。从真值表可以看出, 逻辑非的含义为: 当条件不具备时, 事件才发生。

在逻辑电路中, 把能实现非运算的基本单元叫做非门, 其逻辑符号如图 1-3(d) 所示。

对逻辑变量 A 进行逻辑非运算的表达式为

$$F = \overline{A}$$

其中 $\overline{A}$ 读作 A 非或 A 反。注意在这个表达式中, 变量 (A 、 F) 的含义与普通代数有本质的区别: 无论输入量 (A) 还是输出量 (F) 都只有两种取值 0、1, 没有任何第三种值。

(2) 与、与非

图 1-4(a) 是两个开关 A 、 B 和灯泡 F 及电源组成的串联电路, 这是一个简单的与逻辑电路。分析电路可知, 只有当开关 A 和 B 都闭合时, 灯泡 F 才会亮; A 和 B 只要有一个断开或者全都断开, 则灯泡灭。它们之间的关系可以用图 1-4(b) 表示, 其真值表如图 1-4(c) 所示。与的含义是: 只有当决定一事件的所有条件都全部具备时, 这个事件才会发生。逻辑与也叫做逻辑乘。

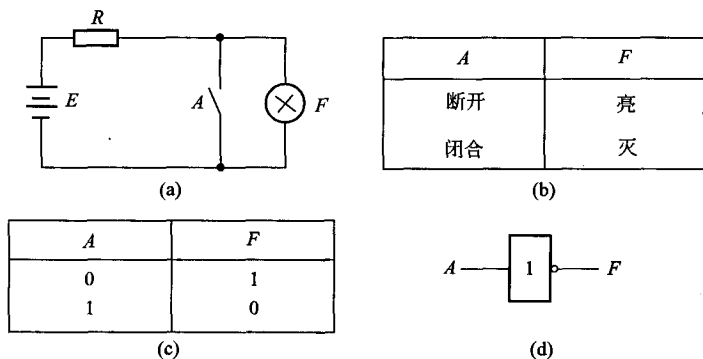


图 1-3 非逻辑电路、符号和真值表

在逻辑电路中,把能实现与运算的基本单元叫做与门,其逻辑符号如图 1-4(d) 所示。逻辑函数 F 与逻辑变量 A 、 B 的与运算表达式为

$$F = A \cdot B$$

式中,“ $\cdot$ ”为逻辑与运算符,也可以省略。

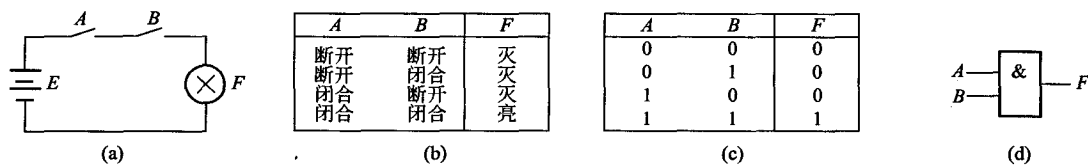


图 1-4 与逻辑电路、真值表和符号

表达式 $F = \overline{AB}$ 称作逻辑变量 A 、 B 的与非,其真值表如图 1-5(a) 所示,逻辑符号如图 1-5(b) 所示。

(3) 或、或非

图 1-6 是一个简单的或逻辑电路,逻辑变量 A 、 B 、 F 如前所述。分析电路可知: A 、 B 中只要有一个为 1,则 $F=1$,即 $A=1$ 、 $B=0$, $A=0$ 、 $B=1$ 或 $A=1$ 、 $B=1$ 时都有 $F=1$;只有 A 、 B 全为 0 时, F 才为 0,其真值表如图 1-6(b) 所示。因此,“或”的含义是:在决定一事件的各条件中,只要有一个或一个以上的条件具备,这个事件就会发生。逻辑或也叫逻辑加。

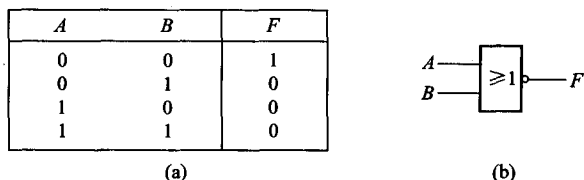
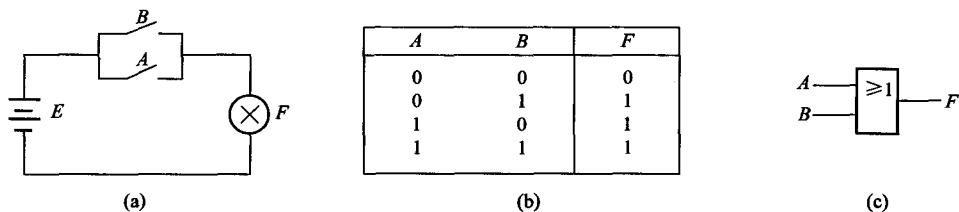

 图 1-5 $F = \overline{AB}$ 的真值表和逻辑符号


图 1-6 或逻辑电路、真值表和逻辑符号

在逻辑电路中,把能实现或运算的基本单元叫做或门,其逻辑符号如图 1-6(c) 所示。逻辑函数 F 与逻辑变量 A 、 B 的或运算表达式为

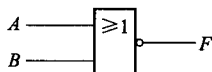
$$F = A + B$$

式中，“+”为逻辑或运算符。

表达式 $F = \overline{A+B}$ 称作逻辑变量 A 、 B 的或非，其真值表和逻辑符号如图 1-7 所示。

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

(a)



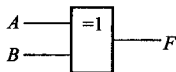
(b)

图 1-7 $F = \overline{A+B}$ 的真值表和逻辑符号

(4) 同或和异或

实训中所遇到的逻辑关系，称为异或。逻辑表达式 $F = \overline{A}B + A\overline{B}$ 表示 A 和 B 的异或运算。其真值表和逻辑符号如图 1-8 所示，这个真值表和实训中的表 1.2 是完全相同的。从真值表可以看出，异或运算的含义是：当输入变量相同时，输出为 0；当输入变量不同时，输出为 1。 $F = \overline{A}B + A\overline{B}$ 又可表示为 $F = A \oplus B$ ，符号“ $\oplus$ ”读做异或。

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



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

图 1-8 $F = \overline{A}B + A\overline{B}$ 的真值表和逻辑符号图 1-9 $F = \overline{A}B + AB$ 的真值表和逻辑符号

逻辑表达式表示 $F = \overline{A}B + AB$ 表示 A 和 B 的同或运算，其真值表和逻辑符号如图 1-9 所示。从真值表可以看出，同或运算的含义是：当输入变量相同时，输出为 1；当输入变量不同时，输出为 0。 $F = \overline{A}B + AB$ 又可表示为 $F = A \odot B$ ，符号“ $\odot$ ”读做同或。

例如：通过图 1-8 和图 1-9 的真值表也可以看出，异或和同或互为非运算，即 $F = A \odot B = \overline{A \oplus B}$ 。

上面讨论了几种基本的逻辑运算，这些基本的逻辑关系也可以推广到多变量的情况，如

$$F = A \cdot B \cdot C \dots$$

$$F = A + B + C \dots$$

实际的逻辑问题往往非常复杂，但是它们可以通过基本逻辑关系的组合来实现，如

$$F = \overline{A \cdot B \cdot C} \quad \text{为与非运算；}$$

$$F = \overline{A+B+C} \quad \text{为或非运算；}$$

$$F = \overline{AB+CD} \quad \text{为与或非运算；}$$

$$F = \overline{A(B+C)} + DEF \quad \text{为复杂运算。}$$

在复合逻辑运算中要特别注意运算的优先顺序。其优先顺序为：圆括号；非运算；与运算；或运算。

1.3.2 逻辑变量与逻辑函数

分析研究各种逻辑事件、逻辑电路，就必须借助逻辑代数这一数学工具。逻辑代数中的变量称为逻辑变量，用字母 A 、 B 、 C ... 表示，例如前述的照明灯控制开关 A 、 B 等。逻辑变量只有两种取值：真和假，一般用“1”表示真，用“0”表示假。表达式 $F = A \cdot B$ 等称

为逻辑函数。掌握逻辑函数的运算法则是研究数字电路的基础。

1.3.2.1 逻辑代数的基本运算

熟悉和掌握逻辑函数的运算法则,将为分析和设计数字电路提供很多方便。逻辑函数的运算法则包括公理、基本定律、基本规则和一些公式。

(1) 公理和基本定律

逻辑代数的公理有:

- ① $\bar{1}=0; \bar{0}=1$
- ② $1 \cdot 1=1; 0+0=0$
- ③ $1 \cdot 0=0 \cdot 1=0; 1+0=0+1=1$
- ④ $0 \cdot 0=0; 1+1=1$
- ⑤ 如果 $A \neq 0$, 则 $A=1$; 如果 $A \neq 1$, 则 $A=0$ 。

这些公理符合逻辑推理,不证自明。

逻辑代数的基本定理如下。

- ① 交换律 $A \cdot B=B \cdot A; A+B=B+A$
- ② 结合律 $A(BC)=(AB)C; A+(B+C)=(A+B)+C$
- ③ 分配律 $A(B+C)=AB+AC; A+BC=(A+B)(A+C)$
- ④ 01 律 $1 \cdot A=A; 0+A=A \quad 0 \cdot A=0; 1+A=1$
- ⑤ 互补律 $A \cdot \bar{A}=0; A+\bar{A}=1$
- ⑥ 重叠律 $A \cdot A=A; A+A=A$
- ⑦ 反演律——德·摩根定律 $\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}; \overline{A+B}=\bar{A} \cdot \bar{B};$
- ⑧ 还原律 $\bar{\bar{A}}=A$

如果两个逻辑函数具有相同的真值表,则这两个逻辑函数相等。因此,证明以上定律的基本方法是利用真值表,即分别列出等式两边逻辑表达式的真值表,若两张真值表完全一致,就说明两个逻辑表达式相等。

【例 1-6】 证明德·摩根定律: $\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$ 。

解 等式两边的真值表如表 1-5 所示。

表 1-5 证明 $\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$ 的真值表

A	B	$\overline{A \cdot B}$	$\bar{A}+\bar{B}$
0	0	1	1
0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	0	0

从表 1-5 可以看出, $\overline{A \cdot B}$ 与 $\bar{A}+\bar{B}$ 的真值表完全一样,因此等式成立。

(2) 逻辑代数的 3 个基本规则

① 代入规则 在任何一个含有变量 A 的逻辑代数等式中,如果将出现 A 的所有地方都代之以一个逻辑函数,则等式仍然成立,这个规则称为代入规则。

例如,在等式 $B(A+C)=BA+BC$ 中,将所有 A 用函数 $(A+D)$ 代替,则等式左边为

$$B[(A+D)+C]=B(A+D)+BC=BA+BD+BC$$

等式右边为

$$B(A+D)+BC=BA+BD+BC$$

显然,等式仍然成立。

② 反演规则 已知逻辑函数 F , 将其中所有的与“ $\cdot$ ”换成或“ $+$ ”,所有的或“ $+$ ”换成与“ $\cdot$ ”;“0”换成“1”,“1”换成“0”;原变量换成反变量,反变量换成原变量,则得 F 的反函数。这个规则称为反演规则。

利用反演规则,可以较容易地求出一个函数的反函数。但变换时要注意两点,一点是要保持原式中逻辑运算的优先顺序;另一点是,不是一个变量上的反号应保持不变,否则就要出错。例如, $F=\overline{A}\overline{B}+CD$,则反函数为 $\overline{F}=(A+B)\cdot(\overline{C}+\overline{D})$,而不是 $\overline{F}=A+B\cdot\overline{C}+\overline{D}$;又如, $F=A+B+\overline{C}+\overline{D}+\overline{E}$,则反函数为 $\overline{F}=\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot\overline{C}\cdot\overline{D}\cdot\overline{E}$ 。

③ 对偶规则 对于一个逻辑表达式 F ,如果将 F 中的与“ $\cdot$ ”换成或“ $+$ ”,或“ $+$ ”换成与“ $\cdot$ ”;“1”换成“0”,“0”换成“1”,那么就得到一个新的逻辑表达式,这个新的表达式称为 F 的对偶式 F' 。求对偶式时要注意变量和原式中的优先顺序应保持不变。

例如, $F=A\cdot(B+C)$,则对偶式 $F'=A+B\cdot C$ 。

又如, $F=(A+0)\cdot(B\cdot 1)$,则对偶式 $F'=A\cdot 1+(B+0)$ 。

所谓对偶规则,是指当某个恒等式成立时,则其对偶式也成立。

如果两个逻辑表达式相等,那么它们的对偶式也相等,即若 $F=G$,则 $F'=G'$ 。

(3) 常用公式

利用上面的公理、定律、规则可以得到一些常用的公式,掌握这些常用公式,对逻辑函数的化简很有帮助。

① 吸收律

$$A+A\cdot B=A; A(A+B)=A; A+\overline{A}B=A+B; A\cdot(\overline{A}+B)=A\cdot B$$

② 还原律

$$AB+A\overline{B}=A; (A+B)(A+\overline{B})=A$$

③ 冗余律

$$AB+\overline{A}C+BC=AB+\overline{A}C$$

证明

$$\begin{aligned} AB+\overline{A}C+BC &= AB+\overline{A}C+BC(A+\overline{A}) \\ &= AB+\overline{A}C+ABC+\overline{A}BC \\ &= (AB+ABC)+(\overline{A}C+\overline{A}BC) \\ &= AB+\overline{A}C \end{aligned}$$

推论

$$AB+\overline{A}C+BCDE=AB+\overline{A}C$$

上述其他公式请读者自己证明。

1.3.2.2 逻辑函数的表示方法

逻辑函数可以用逻辑函数表达式、真值表、卡诺图和逻辑图几种方式表示。

(1) 逻辑表达式

用与或非等逻辑运算表示逻辑变量之间关系的代数式,叫逻辑函数表达式,例如, $F=A+B$, $G=A\cdot B+C+D$ 等。