



普通高等教育“十二五”规划教材

数字逻辑与 VHDL程序设计

冯福生 等编著
关凤岩 主 审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

普通高等教育“十二五”规划教材

数字逻辑与 VHDL 程序设计

冯福生 等编著

关凤岩 主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书包括数字逻辑基础和 VHDL 语言程序设计两大部分,共分九章。第 1 章主要介绍数字逻辑基础(数制、码制、逻辑代数、逻辑函数等),第 2 章主要介绍可编程逻辑器件和 MAX+plus II 软件使用,第 3 章~第 6 章主要介绍典型数字逻辑器件及其工作原理,第 7 章主要介绍 VHDL 语言基础,第 8 章主要介绍基于 VHDL 的基本数字电路设计,第 9 章主要介绍几个典型数字系统设计。在书的后面设置了 3 个附录,分别介绍 VHDL 语言的保留字,常用的 VHDL 开发软件和 Quartus II 软件的使用。每章后面都有习题和思考题。为方便教师教学,本书配有多媒体电子教案。

本书可作为计算机、电子、通信、机电一体化等专业的教材和参考书,同时也可作为数字电路设计人员的自学参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑与 VHDL 程序设计 / 冯福生等编著. —北京: 电子工业出版社, 2012.6

ISBN 978-7-121-17182-6

I. ①数… II. ①冯… III. ①数字逻辑—逻辑设计—高等学校—教材 ②硬件描述语言—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP302.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 108551 号

责任编辑:竺南直 特约编辑:郭 莉

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 23 字数: 588 千字

印 次: 2012 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 39.50 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

随着计算机技术、电子技术的迅速发展以及集成电路生产工艺的不断提高,电子产品的更新换代日新月异。其中数字电路系统设计的规模更大、集成度更高,而且要求设计周期短、灵活性强,面对不同的用户,能方便修改和迅速升级。传统的手工设计和分立元件设计显然不能适应这些要求,数字电路的设计方法从手工、分立、小型化和纯硬件的设计方法逐渐变成计算机为主要开发工具,在 EDA(电子设计自动化)开发软件平台上,用硬件描述语言(VHDL)描述的数字电路系统,能自动地完成编译、逻辑化简、逻辑综合和布局布线,以及进行优化和仿真测试,极大地提高了电子产品设计的正确性、缩短产品的开发周期以及增加产品修改的灵活性。

本书作为从数字电路设计向大规模集成电路开发过渡的教材,首先介绍了数字逻辑电路的一些基本概念和传统设计方法,然后介绍了 VHDL 语言的基本要素,并通过实例讲述了采用 VHDL 语言描述基本的数字电路的方法和过程,最后介绍了采用 VHDL 语言进行数字系统开发的设计流程、设计步骤、设计思想和典型实例。

数字逻辑与 VHDL 程序设计是高等工科院校近几年结合 IC 技术和 EDA 技术发展进行教学改革而形成的综合数字逻辑和 VHDL 程序设计两部分内容的专业基础课程,具有很强的理论性和实践性。本书从实用角度出发,考虑到数字逻辑和 VHDL 程序设计的知识体系,根据作者多年的教学经验,参考众多国内外优秀教材编写而成。全书包括数字逻辑基础和 VHDL 语言程序设计两大部分,共分九章。第 1 章主要介绍数字逻辑基础(数制、码制、逻辑代数、逻辑函数等),第 2 章主要介绍可编程逻辑器件和 MAX+plus II 软件使用,第 3 章~第 6 章主要介绍典型数字逻辑器件及其工作原理,第 7 章主要介绍 VHDL 语言基础,第 8 章主要介绍基于 VHDL 的基本数字电路设计,第 9 章主要介绍几个典型数字系统设计。在书的后面设置了 3 个附录,分别介绍 VHDL 语言的保留字,常用的 VHDL 开发软件和 Quartus II 软件的使用。所有内容安排由浅入深,有简到繁,能有效地提高学习数字逻辑基础和 VHDL 语言程序设计的效率,使读者更快更好地掌握相关的理论知识和应用技能。为了方便教师教学,本书配有多媒体电子教案,可登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费下载。

本书由黑龙江科技学院的冯福生、陈国民、张子红、王锴,东北农业大学成栋学院的李广伟、董宏伟、李焕然、栾兵,中国移动通信集团黑龙江有限公司的王宇共同编写,全书由冯福生负责统稿,关凤岩主审。其中,第 1 章由董宏伟编写,第 2 章由陈国民编写,第 3 章由栾兵编写,第 4 章由李焕然编写,第 5 章、第 6 章由李广伟编写,第 7 章由冯福生

编写，第8章中的第1、2节由王锴编写，第8章中的第3节、附录由张子红编写，第9章由王宇编写。在本书编写过程中，得到了许多高校领导、专家和学者的大力支持和帮助，在此致以诚挚的谢意！

本书可作为计算机、电子、通信、机电一体化等专业的教材和参考书，同时也可作为数字电路设计人员的自学参考书。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请各位专家和读者批评指正。

编 者

2012年4月

目 录

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 数字电路与数字信号	1
1.1.1 数字技术的发展和应	1
1.1.2 模拟信号和数字信号	1
1.1.3 数字信号的描述方法	1
1.2 数制与码制	2
1.2.1 进位计数制	2
1.2.2 进位计数制的相互转换	3
1.2.3 二进制编码	4
1.2.4 字符编码	5
1.3 逻辑函数	5
1.3.1 逻辑函数的基本概念	5
1.3.2 基本逻辑运算	6
1.3.3 几种常用的逻辑运算	7
1.3.4 逻辑函数的表示方法	10
1.4 逻辑代数	10
1.4.1 逻辑代数的基本定律	10
1.4.2 逻辑代数运算的基本规则	11
1.4.3 用逻辑代数化简逻辑函数	12
1.5 卡诺图	12
1.5.1 逻辑函数的最小项	13
1.5.2 卡诺图的结构	13
1.5.3 用卡诺图化简逻辑函数	15
1.5.4 具有约束的逻辑函数的化简	16
1.6 逻辑系列及其特性	16
1.6.1 TTL 系列简介	16
1.6.2 TTL 系列参数和特性	17
1.6.3 CMOS 系列简介	20
1.6.4 射极耦合逻辑系列简介	21
习题	21
第 2 章 可编程逻辑器件及 MAX+plus II 的使用	23
2.1 简单可编程逻辑器件	23
2.1.1 PLD	23
2.1.2 PLA	24

2.1.3	PAL	25
2.1.4	GAL	26
2.2	复杂可编程逻辑器件 (CPLD)	28
2.2.1	CPLD 概述	28
2.2.2	CPLD 的基本结构	28
2.2.3	CPLD 的编程	29
2.3	现场可编程门阵列 (FPGA)	30
2.3.1	FPGA 概述	30
2.3.2	FPGA 的基本结构	30
2.3.3	FPGA 的编程	31
2.3.4	CPLD/FPGA 主流产品	31
2.4	MAX+plus II 的使用	33
2.4.1	MAX+plus II 概述	33
2.4.2	设计输入	38
2.4.3	LPM 和 IP 核	50
2.4.4	项目编译	53
2.4.5	项目校验	55
2.4.6	器件编程与配置	61
	习题	63
第 3 章	组合逻辑电路	64
3.1	组合逻辑电路的分析和设计	64
3.1.1	组合逻辑电路的分析	64
3.1.2	组合逻辑电路的设计	66
3.1.3	组合逻辑电路中的竞争冒险	68
3.2	编码器和译码器	70
3.2.1	编码器的基本原理	70
3.2.2	译码器的基本原理	72
3.3	数据选择器和比较器	76
3.3.1	数据选择器的基本原理	76
3.3.2	比较器的基本原理	78
3.4	算术运算电路	80
3.4.1	一位半加器和全加器的基本原理	80
3.4.2	多位加法器的基本原理	82
3.4.3	减法器的基本原理	83
	习题	84
第 4 章	锁存器和触发器	86
4.1	概述	86
4.2	锁存器	86

4.2.1	SR 锁存器的基本原理	87
4.2.2	D 锁存器的基本原理	89
4.3	触发器	92
4.3.1	RS 型触发器的基本原理	92
4.3.2	JK 触发器的基本原理	94
4.3.4	D 触发器的基本原理	97
习题		100
第 5 章	时序逻辑电路	102
5.1	时序逻辑电路的基本概念	102
5.2	时序逻辑电路的分析和设计	103
5.2.1	时序逻辑电路的分析	103
5.2.2	时序逻辑电路的设计	106
5.3	寄存器	107
5.3.1	寄存器的基本原理	107
5.3.2	移位寄存器的基本原理	108
5.4	计数器	110
习题		116
第 6 章	存储器	117
6.1	随机存储器 (RAM)	117
6.1.1	随机存储器概述	117
6.1.2	随机存储器的结构与基本原理	117
6.2	只读存储器 (ROM)	121
6.2.1	只读存储器 (ROM) 概述	121
6.2.2	只读存储器的结构与基本原理	121
6.3	存储器容量的扩充	126
6.3.1	字长位数扩展	126
6.3.2	字存储容量扩展	127
习题		128
第 7 章	VHDL 语言基础	130
7.1	VHDL 简介	130
7.1.1	VHDL 的特点	131
7.1.2	VHDL 语言的发展趋势	132
7.1.3	Verilog HDL	133
7.2	VHDL 语言的程序结构	134
7.2.1	库	136
7.2.2	实体	140
7.2.3	结构体	142
7.2.4	程序包	148

7.2.5 配置	151
7.3 VHDL 语言的词法	161
7.3.1 标识符	161
7.3.2 词法单元	162
7.3.3 数据对象	164
7.3.4 数据类型	177
7.3.5 运算符	190
7.4 VHDL 语言的语法	194
7.4.1 顺序语句	194
7.4.2 并行语句	207
思考题与习题	239
第 8 章 基于 VHDL 的基本数字电路设计	241
8.1 组合逻辑电路的设计	241
8.1.1 门电路设计	241
8.1.2 三态门及总线缓冲器电路设计	249
8.1.3 编码器设计	253
8.1.4 译码器设计	256
8.1.5 多路选择器设计	259
8.1.6 比较器设计	262
8.1.7 运算电路设计	263
8.2 时序逻辑电路设计	266
8.2.1 时钟描述	266
8.2.2 复位描述	268
8.2.3 触发器设计	270
8.2.4 锁存器	276
8.2.5 寄存器设计	279
8.2.6 移位寄存器	280
8.2.7 计数器	281
8.2.8 分频器	286
8.3 状态机	287
8.3.1 状态机概述	287
8.3.2 状态机的建模	288
8.3.3 状态机的设计步骤	291
8.3.4 状态机的设计实例	292
8.3.5 Moore 型状态机的复位	301
8.3.6 Moore 型状态机的信号输出方式	305
思考题与习题	311

第 9 章 典型数字系统设计.....317

9.1 数字系统概述317

9.1.1 数字系统的组成.....317

9.1.2 数字系统的设计方法.....317

9.1.3 设计的基本准则.....321

9.2 微波炉控制芯片的设计.....323

9.2.1 芯片概述323

9.2.2 芯片功能设计.....324

9.2.3 VHDL 程序实现.....325

9.3 交通灯控制器的设计.....334

9.3.1 设计要求334

9.3.2 交通灯系统组成.....335

9.3.3 交通灯模块电路的 VHDL 语言实现.....336

思考题与习题.....343

附录 A VHDL 保留字.....344

附录 B 常用 VHDL 开发软件345

附录 C QuartusII 软件的使用.....346

C.1 启动 Quartus II346

C.2 VHDL 语言输入与编译.....350

C.3 文件下载351

C.4 使用 Flash Loader (JTAG 模式) 下载 EPCS 器件.....353

参考文献.....356

第 1 章 数字逻辑基础

1.1 数字电路与数字信号

1.1.1 数字技术的发展和應用

随着现代电子信息技术的不断发展，数字电子技术正成为电子技术发展的主要方向。数字电路正是数字电子技术的核心。数字电路以二值数字逻辑为基础，其工作信号为离散信号。

数字电路的发展历史与模拟电路一样，都是经历了由电子管、半导体分立器件到集成电路的过程。数字电路从 20 世纪 60 年代开始，其集成器件由小规模逻辑器件发展到中规模逻辑器件，70 年代末，出现了微处理器，标志着数字电子技术进入了一个新的时代。

数字电路从其结构上来分，可分为独立和集成两种。按集成电路内部的元器件的有源和无源性来分，可分为双极型（TTL 电路）和单极型（CMOS 型）两类。按集成度不同，又可分为小规模、中规模、大规模、超大规模和甚大规模五类。

数字集成器件采用半导体材料制成，被广泛应用于电路系统之中。如电脑、电视、手机、摄像装置及无线通信系统等。

1.1.2 模拟信号和数字信号

自然界中存在的物理量千差万别，按其变化规律可分为模拟量和数字量两类。表示模拟量的电信号称为模拟信号，模拟信号是指在时间和数值上都连续的信号。表示数字量的电信号称为数字信号，数字信号是指在时间和数值上都离散的信号。在日常生活中，模拟量要远远多于数字量，但是为了处理、储存方便，我们往往把模拟量转换成数字量，即把模拟信号转换成数字信号。在电路中，模拟信号一般是随时间连续变化的电压和电流，如正、余弦信号，工作在模拟信号下的电路称为模拟电路。在电路中，数字信号往往表示为突变的电压和电流，如方波信号和矩形波信号，工作在数字信号下的电路称为数字电路。

1.1.3 数字信号的描述方法

数字信号采用二值描述方式，分别用逻辑数字 0 和 1 来表示，这里的 0 和 1 代表两种对立的状态，不代表具体的数的含义，例如，电灯有亮灭两种对立的状态，如果 1 表示灯亮，则 0 表示灯灭；反之，若 1 表示灯灭，则 0 表示灯亮。在实际电路中，0 和 1 往往代表

低和高，一般处于 0~0.8V 范围的电压，我们称之为低电平，处于 2~5V 范围内的电压称之为高电平。

数字电路中有两种逻辑体制，即正逻辑和负逻辑。正逻辑体制规定：高电平为逻辑 1，低电平为逻辑 0。负逻辑体制规定：低电平为逻辑 1，高电平为逻辑 0，本书如没有特殊说明，均采用正逻辑。研究和处理逻辑问题的主要数学工具是逻辑代数，逻辑代数也叫布尔代数。

1.2 数制与码制

1.2.1 进位计数制

日常生活中人们习惯于使用十进制，而在数字电路中常使用二进制，有时也采用八进制和十六进制。

1. 十进制数

十进制数 (decimal) 是以 10 为基数的计数体制，它由 0~9 十个不同的数码组成，其计数规律为“逢十进一，借一当十”。任何一个十进制数都可以写成：

$$(N)_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i 10^i \quad (1.1)$$

式中， n 代表整数位数， m 代表小数位数，且 n, m 均为整数； a_i 为第 i 位的数码，是 0~9 十个数中的某一个，即 10^i 的系数； 10^i 是第 i 位的位权，它表示数码在不同的位置所代表的不同数值，从小数点起往左，即整数部分由低到高的位权依次为 $10^0, 10^1, 10^2, \dots, 10^{n-1}$ ；从小数点往右，即小数部分由高到低的位权依次为 $10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, \dots, 10^{-m}$ 。

例 1.1 写出 $(143.25)_{10}$ 的按权展开式。

解： $(143.25)_{10} = 1 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$

2. 二进制数

二进制数只有 0 和 1 两个数码，因此计数基数 $R=2$ ，高位和低位的计数规则是“逢二进一，借一当二”。任一个二进制数都可以写成：

$$(N)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i 2^i \quad (1.2)$$

式 (1.2) 中： n, m 与式 (1.1) 中相同。 a_i 的取值为 0 或 1，即 2^i 的系数； 2^i 为位权。

例 1.2 写出 $(1010.101)_2$ 的按权展开式。

解： $(1010.101)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$

3. 八进制数

八进制数有 0~7 八个数码，计数基数 $R=8$ ，高低位之间的计数规则是“逢八进一，借一当八”。任一个八进制数都可以写成：

$$(N)_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i 8^i \quad (1.3)$$

例 1.3 写出 $(234.5)_8$ 的按权展开式。

解: $(234.5)_8 = 2 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 4 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1}$

4. 十六进制数

十六进制数共有 16 个数码。它是由 0~9 十个数字和 A、B、C、D、E、F 六个字母组成。其中 A、B、C、D、E、F 分别表示的是 10、11、12、13、14、15。因此计数基数 $R=16$ ，高位和低位的计数规则是“逢十六进一，借一当十六”。任一个十六进制数都可以写成：

$$(N)_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i 16^i \quad (1.4)$$

例 1.4 写出 $(3E5.6)_{16}$ 的按权展开式。

解: $(3E5.6)_{16} = 3 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 5 \times 16^0 + 6 \times 16^{-1}$

1.2.2 进位计数制的相互转换

1. 任意进制数转化成十进制数

转换方法：只需把任意进制的数按权展开，然后相加所得的结果就是其相对应的十进制数。

例 1.5 将下列各进制数转化成十进制数。

$$(110.1)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} = (6.5)_{10}$$

$$(32.2)_8 = 3 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 2 \times 8^{-1} = (26.25)_{10}$$

$$(1A.8)_{16} = 1 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} = (26.5)_{10}$$

2. 十进制数转换为二进制数

(1) 整数部分的转换

将十进制的整数部分除以 2 取余，把余数按倒序排列就得到了相应的二进制数。

例 1.6 将 $(57)_{10}$ 转换为二进制数

2	57	余数	
2	28		1
2	14		0
2	7		0
2	3		1
2	1		1
	0		1

则 $(57)_{10} = (111001)_2$

(2) 小数部分的转换

将十进制数的小数部分乘以 2 取整数，把整数按顺序排列，就得到了相应的二进制数。

例 1.7 将 $(0.74)_{10}$ 转换成二进制数，保留四位。

$0.74 \times 2 = 1.48$ 整数为 1

$0.48 \times 2 = 0.96$ 整数为 0

$0.96 \times 2 = 1.92$ 整数为 1

$0.92 \times 2 = 1.84$ 整数为 1

则 $(0.74)_{10} = (0.1011)_2$

3. 二进制数与八进制数间的相互转换

(1) 二进制数转换成八进制数

以小数点为基准，整数部分自小数点向左，每 3 位一组，最高位不足 3 位时用 0 补齐；小数部分自小数点向右，每 3 位一组，最低位不足 3 位时用 0 补齐；然后写出每组对应的八进制数，即得到了对应的八进制数。

例 1.8 将 $(11001010.01)_2$ 转换成八进制数。

解： $(11001010.01)_2 = (\underline{011} \ \underline{001} \ \underline{010.010})_2 = (312.2)_8$

(2) 八进制数转换成二进制数

每一位八进制数转换成 3 位二进制数。

例 1.9 将 $(63.1)_8$ 转换成二进制数。

解： $(63.1)_8 = (110011.001)_2$

4. 二进制数与十六进制数之间的转换

二进制数与十六进制数之间的转换和二进制数与八进制数间的相互转换的方法是一样的，不同之处在于：每 4 位二进制数为一组，对应 1 位十六进制数。同样，1 位十六进制数应转化成 4 位二进制数。

例 1.10 将 $(11001010.01)_2$ 转换成十六进制数。

解： $(111001010.01)_2 = (\underline{0001} \ \underline{1100} \ \underline{1010.0100})_2 = (1CA.4)_{16}$

1.2.3 二进制编码

数字系统中的信息可分为两类，一类是数值，另一类是文字符号（包括控制符）。有时为了表示文字符号信息，往往采用一定位数的二进制码表示，这个特定的二进制码称为代码，建立这种代码与数值、字母、符号的一一对应的关系称为编码。

数字系统使用二进制，但人们习惯使用十进制。为此，在二进制数与十进制数之间建立一种联系，即使用二进制代码来表示十进制的 0~9 十个数，这就是二-十进制码，又称 BCD 码。

要用二进制代码表示十进制的 0~9 十个数，至少用 4 位二进制数。4 位二进制数有 16 种组合，可以从这 16 种组合中选择 10 种组合分别来表示十进制的 0~9 十个数。选哪 10 种组合，有多种方案，这就形成了不同的 BCD 码。具有一定规律的常用的 BCD 码如表 1-1 所示。

表 1-1 常用的几种 BCD 码

十进制数	8421BCD 码	5421 码	2421 码	余三码	格雷码
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	0101	1000	0111
6	0110	1001	0110	1001	0101
7	0111	1010	0111	1010	0100
8	1000	1011	1110	1011	1100
9	1001	1100	1111	1100	1101

8421BCD 码是从 4 位二进制数的 0000 到 1111 共 16 位组合中选取了前 10 种,即 0000~1001,其余 6 种组合是无效的,这种编码方式中,二进制数码每位的位权与自然二进制码的位权是一致的。例如,二进制码 0101 所表示的十进制数为 $0 \times 8 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 = 5$,因此这种码称为 8421BCD 码,是一种有权码。

同样 5421 和 2421 码也是有权码,只是它们的位权值不同。

余 3 码由 8421 码加 3 得来的,例如 8421 码的 4(0100)加 3(0011)得余三码的 4(0111),余三码是一种无权码。

格雷码是按照相邻性原则编码的,相邻两码之间只有一位数字不同。这样与其他码同时改变两位或多位的情况相比更为可靠,因此也叫做可靠码。

1.2.4 字符编码

对各个字母和符号进行编制的代码称为字符代码。字符代码的种类繁多,目前在计算机和数字通信系统中被广泛应用,主要有 ISO 和 ASCII 码。

ISO 编码是国际标准化组织编制的一组 8 位二进制码,主要应用于信息传送。这一组编码包括 0~9,共 10 个数码值、26 个英文字母以及 20 个其他符号的代码,共 56 个。8 位二进制码的其中一位是补偶校验位,用来把每个代码中的 1 的个数补成偶数以便查询。

ASCII 码采用 7 位二进制数编码,可以表示 128 个字符。它包括 10 个十进制数 0~9;26 个大小写字母;32 个通用控制符号。读码时先读列码,再读行码。

1.3 逻辑函数

1.3.1 逻辑函数的基本概念

数字电路是一种开关电路,从电路的内部来看,管子导通或截止,可以用 1 或 0 表示;

从电路的输出和输入来看，高电平和低电平也可用 1 和 0 来表示。换言之，数字电路的输入变量和输出变量之间是一种因果关系或称逻辑关系。这种仅有两个取值变化的的逻辑关系通常用二值代数即逻辑代数来描述。逻辑代数又叫布尔代数。是分析数字系统的主要数学工具。

(1) 逻辑变量

逻辑代数中的变量称为逻辑变量。逻辑变量分为两类，即输入逻辑变量和输出逻辑变量。它们的取值只有 0 和 1 两种。这里的 0 和 1 没有实际的意义，只表示两种对立的状态。例如：如之前所介绍，若 0 表示开关断开，则 1 表示开关闭合；0 表示灯灭，则 1 表示灯亮；又或 0 表示低电平，则 1 表示高电平。

(2) 逻辑函数

对于任何一个数字电路，若输入逻辑变量 A 、 B 、 C 、 $\dots$ 的取值确定后，其输出变量 F 的值也被唯一确定了，则可以称 F 为 A 、 B 、 C 、 $\dots$ 的逻辑函数，并记为：

$$Y=F(A、B、C、\dots)$$

1.3.2 基本逻辑运算

逻辑代数中有 3 种基本运算，与运算、或运算和非运算。

1. 与运算

只有当决定一件事情的所有条件都具备了，这件事情才会发生。这种因果关系称为与逻辑，与逻辑对应着与运算。

图 1.1 所示是一个典型的与逻辑电路。决定灯亮这件事的条件是开关 A 与 B 同时闭合。只闭合其一，灯 Y 是不会亮的，所以这个电路符合与逻辑关系。

可以用列表的方式表示上述逻辑关系，如表 1-2 所示。左边列出两个开关所有的可能组合。右边列出相应的灯的状态。这种完整的表达所有的可能逻辑关系的表格称为真值表。

若用二值逻辑 0 和 1 来表示，输入端：设 0 表示开关断开，1 表示开关闭合。输出端：0 表示灯灭，1 表示灯亮。则得到表 1-2 所示真值表。

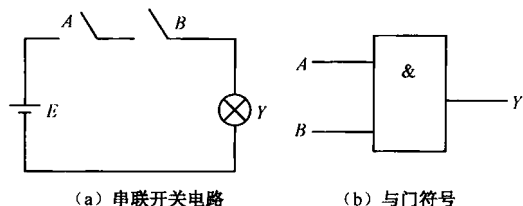


图 1.1 与逻辑电路和符号

表 1-2 与逻辑真值表

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

若用逻辑表达式来描述，则可写为：

$$Y=A \cdot B \quad (1.5)$$

上式可读作 Y 等于 A 与 B ，或 Y 等于 A 乘 B ，与运算也称逻辑乘。图 1.1 (b) 为与运算逻辑符号，称为与门。

2. 或运算

当决定一件事情的几个条件中，只要一个或一个以上条件具备，这件事情就发生。这种因果关系称为或逻辑，或逻辑对应或运算。

如图 1.2 (a) 所示，只要开关 A 、 B 中有一个闭合，灯就会亮，只有当 A 、 B 均不闭合时，灯才是灭的。该图即可实现或逻辑。表 1-3 给出了或运算的真值表。

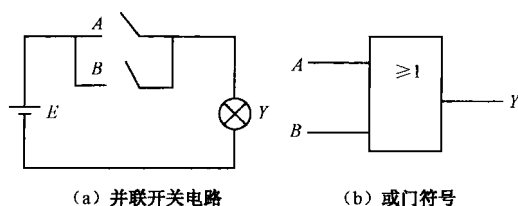


图 1.2 或逻辑电路和符号

表 1-3 或逻辑真值表

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

用逻辑表达式来描述则可写成：

$$Y = A + B \quad (1.6)$$

上式可读作 Y 等于 A 或 B ，或 Y 等于 A 加 B ，或运算也称逻辑加。图 1.2 (b) 为或运算逻辑符号，称为或门。

3. 非运算

当决定一件事情的条件具备时该事情的结果不发生，当该条件不具备时，事件结果发生，这种因果关系称为非逻辑，非逻辑对应非运算。

图 1.3 (a) 所示，当开关 A 闭合时灯灭，当开关 A 断开时灯亮，这样的因果关系称为非逻辑，非逻辑对应非运算。表 1-4 给出了或运算的真值表。

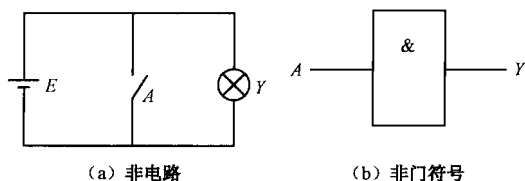


图 1.3 非逻辑电路和符号

表 1-4 非逻辑真值表

A	Y
0	1
1	0

用逻辑表达式来描述则可写成：

$$Y = \overline{A} \quad (1.7)$$

上式可读作 Y 等于 A 反，或 Y 等于 A 非。图 1.3 (b) 为非运算的逻辑符合，称为非门。

1.3.3 几种常用的逻辑运算

数字电路中除了与、或、非 3 种基本的逻辑运算外，还有 5 种常用的逻辑运算，这 5 种逻辑运算都是由 3 种基本逻辑运算组合而成的。它们分别是与非逻辑运算、或非逻辑运算、与或非逻辑运算、同或逻辑运算和异或逻辑运算。下面分别对这 5 种运算进行介绍。