



数字电子技术

曾晓宏 主编

杨成利 潘志军 吴世富 焦荣 参编



增值回报
电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专规划教材系列

数 字 电 子 技 术

主编 曾晓宏
参编 杨成利 潘志军
吴世富 焦 荣



机 械 工 业 出 版 社

本书内容包括：数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲信号的产生和变换、数模和模数转换技术、存储器等。每章均附有实验技能训练和知识能力训练的内容，并在附录中以实例的方式介绍了一些小型数字电路的设计、制作和调试的实践指导。

本书可供高职高专通信类专业师生使用，也可供电子类专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电子技术/曾晓宏主编. —北京：机械工业出版社，2007. 11
(21 世纪高职高专规划教材系列)
ISBN 978 - 7 - 111 - 22560 - 7

I. 数… II. 曾… III. 数字电路 - 电子技术 - 高等学校：技术学校 - 教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 159275 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：赵丽欣 版式设计：霍永明

责任校对：魏俊云 责任印制：邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2008 年 2 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 12.5 印张 · 307 千字

0 001 — 5 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 22560 - 7

定价：20.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：(010) 68326294

购书热线电话：(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：(010) 88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

出版说明

为了贯彻国务院发〔2002〕16号文件《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》的精神,进一步落实《中华人民共和国职业教育法》和《中华人民共和国劳动法》,实施科教兴国战略,大力推进高等职业教育改革与发展,我们组织力量,对实现高等职业教育培养目标和保证基本教学规格的文化基础课程、专业技术基础课程和重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写。

本套教材包含了高职高专院校计算机类、电子信息类、通信类、自动化类、市场营销类专业的专业基础课、专业课以及选修课。为配合高职教育关于“培养21世纪与我国现代化建设要求相适应的一线科技实用型人才”的最新理念,我们特为本系列教材配备了实践指导丛书,以利于老师的教学和学生的学习。

本套教材将理论教学和实践教学紧密结合,图文并茂、内容实用、层次分明、讲解清晰,其中融入了作者长期的教学经验和丰富的实践经验,可作为各类高职高专院校的教材,也可作为各类培训班的教材。

机械工业出版社

前 言

本教材是全国高职高专通信类专业规划教材之一，是根据高等职业教育通信类专业培养目标对本课程的基本要求编写的。

作者所在学院（重庆电子工程职业技术学院）是中澳职教合作项目——通信专业合作试点学院。在编写本书过程中，作者借鉴了澳大利亚职业教育的一些先进理念，在编写过程中力求做到以下几点：

1. 以培养学生职业岗位群的综合能力为目标，从实际应用出发，摒弃复杂的理论推导，突出具体的集成电路芯片及其应用，注重培养学生分析和调试数字电路的能力。

2. 数字电子技术是通信类专业的专业基础课。课程的任务是使学生获得数字电子技术的基本理论、基本知识和基本技能，培养学生分析问题、解决问题的能力。本书重视基本概念的讲解，知识面覆盖较宽，层次清楚，为后续课程的学习提供了坚实的知识基础。

3. 本书每章都明确提出学生应掌握的技能要求，理论分析也围绕实践而展开，并在每章均编写了知识和技能考核内容，充分体现了教、学、做相结合的能力本位的职教思想。

4. 本书与普通高等教育教材的区别在于只关注各种数字电路器件的外部特性，通过各种实例突出具体应用，对内部原理不做过多阐述。

本书内容包括数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲信号的产生和变换、数模和模数转换技术、存储器等内容，并在附录中介绍了设计、调试数字电路所需的辅助知识和实例。

本书参考学时为 110 学时（含实验和实训环节），按照专业的要求不同，在教学中可以对学习内容和学习时间做适当的调整（书中带 * 的内容可供选用）。

本书第 2、3 章由潘志军老师编写，第 7、8 章和附录 C 由杨成利老师编写，第 9 章由吴世富老师编写，附录 B 由潘志军和焦荣老师共同编写，其余由曾晓宏老师编写并统校全书。重庆电子工程职业学院张红斌老师、重庆电子技师学院陈良老师参与策划并审阅了全书。在此向为本书出版做出贡献的朋友表示感谢。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 绪论 1

- 1.1 模拟信号与数字信号 1
- 1.2 模拟电路与数字电路 1
 - 1.2.1 概念 1
 - 1.2.2 数字电路的特点 1

第2章 数字逻辑基础 3

- 2.1 数制与编码 3
 - 2.1.1 数制 3
 - 2.1.2 编码 5
- 2.2 逻辑函数的表示方法 6
 - 2.2.1 逻辑函数的概念 6
 - 2.2.2 逻辑函数的表示方法 9
- 2.3 逻辑代数的基本定律
及规则 11
 - 2.3.1 逻辑代数的基本定律 11
 - 2.3.2 逻辑代数的基本规则 12
- 2.4 逻辑函数的标准表达式 13
 - 2.4.1 最小项和最大项 13
 - 2.4.2 逻辑函数的标准表达式 14
- 2.5 逻辑函数的化简 15
 - 2.5.1 公式法化简 16
 - 2.5.2 卡诺图化简 17
- 2.6 单元测试题 20

第3章 逻辑门电路 22

- 3.1 基本逻辑门 22
 - 3.1.1 与门 22
 - 3.1.2 或门 24
 - 3.1.3 非门 24
 - 3.1.4 实训——集成逻辑门的
功能和参数测试 25
- 3.2 复合逻辑门 27

- 3.2.1 与非门 27
- 3.2.2 或非门 28
- 3.2.3 其他复合逻辑门 29
- 3.2.4 实训——用门电路实现
逻辑函数 31
- 3.3* 数字逻辑电路系列 33
 - 3.3.1 TTL 逻辑电路 33
 - 3.3.2 CMOS 逻辑电路 37
- 3.4 单元测试题 41

第4章 组合逻辑电路应用 43

- 4.1 组合逻辑电路的分析和
设计方法 44
 - 4.1.1 组合逻辑电路的分析方法 44
 - 4.1.2 组合逻辑电路的设计方法 44
- 4.2 编码器 45
 - 4.2.1 二进制编码器 46
 - 4.2.2 二—十进制编码器 47
 - 4.2.3 优先编码器 48
 - 4.2.4 实训——编码器及其应用 51
- 4.3 译码器 51
 - 4.3.1 二进制译码器 52
 - 4.3.2 BCD 译码器 54
 - 4.3.3 显示译码器 56
 - 4.3.4 实训——译码器及其应用 58
- 4.4 数据选择器和数据分配器 58
 - 4.4.1 数据选择器 58
 - 4.4.2 数据分配器 60
 - 4.4.3 实训——数据选择器、数据
分配器及其应用 60
- 4.5* 其他组合逻辑电路 61
 - 4.5.1 加法器 61
 - 4.5.2 数值比较器 62
- 4.6 单元测试题 64

第5章 集成触发器 66

5.1 基本 RS 触发器	66	6.4 单元测试题	108
5.1.1 基本 RS 触发器的电路 组成和逻辑符号	66	第 7 章 脉冲信号的产生和变换	111
5.1.2 基本 RS 触发器的逻辑功能	67	7.1 单稳电路	111
5.2 同步触发器	68	7.1.1 微分型单稳电路的原理	111
5.2.1 同步 RS 触发器	68	7.1.2 单稳电路的应用	112
5.2.2 同步 D 触发器	69	7.2 施密特电路	113
5.2.3 同步触发器的空翻现象	70	7.2.1 施密特电路工作原理	113
5.2.4 实训——触发器的功能 测试（一）	70	7.2.2 施密特电路的应用	114
5.3 主从 JK 触发器	71	7.3 多谐振荡器	115
5.3.1 主从 JK 触发器的电路 组成和逻辑符号	71	7.4 555 时基电路及应用	116
5.3.2 主从 JK 触发器的逻辑功能	72	7.4.1 555 定时器的电路结构 和功能	116
5.4 维持阻塞 D 触发器	73	7.4.2 555 时基电路的应用	117
5.4.1 维持阻塞 D 触发器的电路 组成和逻辑符号	73	7.4.3 实训——555 时基电路及其 应用	119
5.4.2 维持阻塞 D 触发器的逻辑 功能	74	7.5 单元测试题	121
5.5 集成触发器	75	第 8 章 数/模和模/数转换	125
5.5.1 集成 JK 触发器	75	8.1 数/模转换	125
5.5.2 集成 D 触发器	76	8.1.1 D/A 转换器原理	125
5.5.3 触发器的变换和应用	76	8.1.2 T 形电阻网络 D/A 转换器	126
5.5.4 实训——触发器的功能 测试（二）	78	8.2 模/数转换	128
5.5.5 实训——触发器的应用	79	8.2.1 A/D 转换原理	128
5.6 单元测试题	80	8.2.2 A/D 转换方法	129
第 6 章 时序逻辑电路	83	8.2.3 实训——D/A、A/D 转换器	131
6.1 时序逻辑电路的分析	84	8.3 单元测试题	135
6.1.1 时序逻辑电路的分析方法	84	第 9 章 存储器与可编程逻辑 器件简介	137
6.1.2 时序逻辑电路的分析步骤	84	9.1 半导体存储器	137
6.1.3 时序逻辑电路分析举例	85	9.1.1 只读存储器	137
6.2 计数器	87	9.1.2 随机存取存储器	139
6.2.1 二进制计数器	87	9.2* 可编程逻辑器件	142
6.2.2 十进制计数器	92	9.2.1 可编程逻辑阵列	142
6.2.3 N 进制计数器	95	9.2.2 可编程阵列逻辑	143
6.2.4 实训——计数器及其应用	101	9.2.3 通用阵列逻辑	143
6.3 寄存器	102	9.2.4 复杂的可编程逻辑器件	144
6.3.1 数码寄存器	102	9.2.5 现场可编程门阵列	144
6.3.2 移位寄存器	103	9.2.6 实训——存储器及应用	145
6.3.3 实训——寄存器及其应用	108	9.3 单元测试题	146

附录	148	B.2 数字频率计	155
附录 A 常用数字集成电路一		B.3 交通灯控制器	161
览表	148	B.4 秒表设计	167
附录 B 数字电路课程设计指导	151	B.5 电子抢答器设计	174
B.1 数字钟设计	151	附录 C 电子学仿真工作平台简介 ...	180

第1章 绪 论

应知要求：

1. 熟悉模拟信号与数字信号的区别。
2. 了解数字电路的特点。

现代电子设备中的电子线路，按其所处理的信号形式加以划分，主要分为模拟电路和数字电路。前者处理模拟信号，后者处理数字信号。

1.1 模拟信号与数字信号

模拟信号是指在时间上和幅度上都是连续变化的信号，一般是指模拟真实世界物理量的电压或电流，比如语音信号。数字信号是指在时间上和幅度上都是离散变化的信号，比如各种脉冲信号。数字信号总是发生在一系列离散的瞬间，而且幅度上是量化的，往往分为高电平和低电平。

1.2 模拟电路与数字电路

1.2.1 概念

对模拟信号进行分析处理时着重考虑波形的形状、幅度和频率变化，所以处理模拟信号的电路主要参数是放大倍数、频率失真、相位失真等，这类电路称为模拟电路；处理数字信号的电路则着重区分信号的高、低电平，输入和输出的逻辑关系，这类电路称为数字电路。

1.2.2 数字电路的特点

从20世纪90年代开始进入数字化、信息化时代，数字技术与国民经济和社会生活的关系日益密切。计算机、计算机网络、通信、电视及音像传媒、自动控制等技术中广泛应用数字技术。

所谓数字化就是指将模拟信号转化为数字信号，并利用数字电路完成信号的处理和传输。数字电路与传统的模拟电路处理方式相比具有如下特点。

1. 稳定可靠，精度高

数字信号具有较强的抗干扰性和保密性，因此在通信系统中，利用数字信号进行信息传输更稳定可靠。

2. 结构简单，便于集成

数字信号在时间上和幅度上是间断的，不是连续变化的，反映到电路上的状态就是开关

状态（即关断和接通或饱和和截止），反映到电平上就是电平的高和低。因此电路结构简单，便于集成和系列化生产。

3. 主要研究电路的逻辑关系

数字电路中主要研究的问题是输入信号的状态（“0”和“1”）和输出信号的状态（“1”和“0”）之间的关系，也就是常说的逻辑关系，即电路的逻辑功能。所以，数字电路中的基本问题是如何分析出电路的逻辑功能和如何找到能完成某个逻辑要求的电路，即逻辑分析和逻辑设计。所用的数学工具是逻辑代数，也称布尔代数。

4. 便于与计算机系统相连

利用存储器，可以方便地将输入的数字信息存储起来，并进行数据处理，实现实时控制。

第2章 数字逻辑基础

应知要求:

1. 掌握二进制数、十进制数、8421BCD 码及其相互转换。
2. 掌握逻辑函数的5种表示方法及其相互转换。
3. 掌握逻辑代数的基本定律、规则和常用公式。
4. 掌握逻辑函数的公式化简和卡诺图化简方法。

2.1 数制与编码

2.1.1 数制

数制是计数进位制的简称。日常生活中,人们最习惯使用十进制数——“逢十进一”。而在数字系统中常采用二进制数,有时也使用八进制数和十六进制数。本节将通过对十进制数的分析和扩展,掌握其他进制数的概念。

1. 十进制数

十进制数采用10个不同的数码0, 1, 2, 3, ..., 9来表示数,其基数为10。十进制数的进位规律是“逢十进一”,如 $8 + 5 = 13$ 。

任意十进制整数的数值可以表示为各数码与所处数位上权的乘积之和,即

$$\begin{aligned}[N]_{10} &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i \\ &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m}\end{aligned}$$

式中, n 表示整数的位数, m 表示小数的位数, i 表示当前的数码所在位置, a_i 表示第 i 位上的数码, 10^i 表示十进制数第 i 位上的权。 $[N]_{10}$ 中的下标表示数制,10表示是十进制数,通常可省略十进制数的下标。

例如,数552.234可以表示为

$$552.234 = 5 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 2 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2} + 4 \times 10^{-3}$$

在数字电路中,若采用十进制,将要求电路能识别10个数码所对应的电平,这将提高电路的设计难度和成本。所以在数字系统中多采用二进制。

2. 二进制数

与十进制数相对应,二进制数采用2个不同的数码0, 1来表示数。因其基数为2,所以称为二进制数。二进制数的进位规律是“逢二进一”,即 $1 + 1 = 10$ 。任意二进制的数值可以表示为

$$[N]_2 = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 2^i$$

式中, K_i 表示二进制数第 i 位数码。二进制数的下标为 2。例如, $[1001.101]_2$ 可表示为

$$[1001.101]_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = [9.625]_{10}$$

由于二进制数码的取值为 0、1 中的一个, 计算二进制数的数值时, 将其数码为 1 的权值求和即可。

3. 八进制数和十六进制数

由于二进制数往往位数很多, 不便于书写与记忆。因此在数字系统、计算机的资料中常采用八进制与十六进制来表示二进制。

八进制数共有 8 种不同的数码, 即 0, 1, 2, 3, ..., 7, 其基数是 8, 进位规律是“逢八进一”。每个数位的权是 8^i , 其中 i 是数码所在的位置。例如, $[251]_8$ 可表示为

$$[251]_8 = 2 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 1 \times 8^0 = 2 \times 64 + 5 \times 8 + 1 \times 1 = [169]_{10}$$

十六进制数共有 16 种不同的数码, 10 以上的数码用 A、B、C、D、E、F 来表示。即 0, 1, 2, 3, ..., 9, A(10), B(11), C(12), D(13), E(14), F(15), 其基数是 16, 进位规律是“逢十六进一”。每个数位的权是 16^i 。例如, $[2EA]_{16}$ 可表示为

$$[2EA]_{16} = 2 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 10 \times 16^0 = 2 \times 256 + 14 \times 16 + 10 \times 1 = [746]_{10}$$

比较二进制、八进制和十六进制数的数值表达式, 可得任意 A 进制数的数值可表示为

$$[N]_A = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times A^i$$

式中, A 为基数, K_i 表示 A 进制数第 i 位数码, A^i 表示第 i 位数的权。此外, 在一些书籍中, 使用 $(N)_B$ 、 $(N)_O$ 、 $(N)_D$ 、 $(N)_H$ 来表示二、八、十、十六进制数。

4. 数制间的转换

二进制数转换为十六(或八)进制数, 以小数点为中心, 向两边计数, 每四位(或三位)二进制数为一组, 不足四位(或三位)的向外端方向补 0; 把每组二进制数转换为相应的十六(或八)进制数即可。十六(或八)进制数转换为二进制数, 按顺序将每位十六进制(或八进制)数, 书写为四位(或三位)二进制数, 不足四位(或三位)前面补 0 即可。

【例 2-1】 二进制数转换为八进制数 $[1100101.11]_2 = [\underline{001} \ \underline{100} \ \underline{101} \ \underline{110}]_2 = [145.6]_8$

二进制数转换为十六进制数 $[1100101.11]_2 = [\underline{0110} \ \underline{0101} \ \underline{1100}]_2 = [65.C]_{16}$

【例 2-2】 八进制数转换为二进制数 $[217.3]_8 = [\underline{010} \ \underline{001} \ \underline{111} \ \underline{011}]_2$

十六进制数转换为二进制数 $[5D8.6]_{16} = [\underline{0101} \ \underline{1101} \ \underline{1000} \ \underline{0110}]_2$

二进制数转换为十进制数, 按位权展开为多项式, 再求和即可。十进制数转换为二进制数, 整数部分可以采用除 2 取余法, 即将十进制数反复除 2, 依次得到余数, 直到商为 0。首次余数为最低位, 最末次余数为最高位。小数部分可以采用乘 2 取整法, 即将十进制数反复乘 2, 取得整数, 依次为小数点后的各位数值。

【例 2-3】 将 $[1101.111]_2$ 转换为十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解} \quad [1101.111]_2 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= [13.875]_{10} \end{aligned}$$

【例 2-4】 将 $[29.24]_{10}$ 转换为二进制数, 误差不大于 2^{-4} 。

解 先求整数部分:

除数	|	被除数	.....	余数	
商					
2	|	29	.....	余 1	 低位
2	|	14	.....	余 0	
2	|	7	.....	余 1	
2	|	3	.....	余 1	
2	|	1	.....	余 1	 高位
0					

再求小数部分：

0.24 × 2 = 0.48	.....	取整 0	.....	b ₋₁	|
0.48 × 2 = 0.96	.....	取整 0	.....	b ₋₂	|
0.96 × 2 = 1.92	.....	取整 1	.....	b ₋₃	|
0.92 × 2 = 1.84	.....	取整 1	.....	b ₋₄	|

所以 $[29.24]_{10} = [11101.0011]_2$

十进制数与十六、八进制数的转换，可以先进行十进制数与二进制数的转换，再进行二进制数与十六、八进制数的转换。

2.1.2 编码

信息在数字系统中可分为两类，一类是数值，另一类是文字符号（包括控制符）。文字符号的信息，往往也采用一定位数的二进制数码来表示，这个特定的二进制码称为代码。建立这种代码与十进制数值、字母、符号一一对应关系的过程称为编码。若要对 A 项信息进行编码，则需 n 位二进制数码与之对应， n 应满足 $2^n \geq A$ 。下面介绍几种常见的代码。

1. 二十进制码（BCD 码）

二十进制码，是用 4 位二进制数码 $b_3b_2b_1b_0$ 表示 1 位十进制数的数码，简称 BCD 码。4 位二进制数的 16 种不同组合中，只用其中的 10 种组合来表示十进制数的 0~9，所以 BCD 码根据选择不同的组合可产生多种不同类型的 BCD 码。

几种常见的 BCD 码与十进制数码的关系如表 2-1 所示。

表 2-1 几种常见的 BCD 码

十进制数	8421BCD 码	2421BCD (A) 码	2421BCD (B) 码	5421BCD 码	余 3 码
0	0000	0000	0000	0000	0011
1	0001	0001	0001	0001	0100
2	0010	0010	0010	0010	0101
3	0011	0011	0011	0011	0110
4	0100	0100	0100	0100	0111
5	0101	0101	1011	1000	1000
6	0110	0110	1100	1001	1001
7	0111	0111	1101	1010	1010
8	1000	1110	1110	1011	1011
9	1001	1111	1111	1100	1100
权	8421	2421	2421	5421	无权

在表 2-1 的每类 BCD 码中，不出现的余下 6 种组合是无效编码。除“余 3 码”是由 8421BCD 码加 3 得到的，没有固定的权以外，其他 BCD 码的权等于其名称。其中 8421BCD 码是简单而常用的一种二-十进制编码。

【例 2-5】 将 $[10010011]_{8421BCD}$ 转换为十进制码。

解 8421BCD 码与十进制码的转换方法为：按顺序将每组 4 位二进制数书写成十进制数。

$$[1001\ 0011]_{8421BCD} = [93]_{10}$$

2. 格雷码

格雷码是另一种常见的无权编码，又称反射循环码。这种代码的特点是：相邻的两个码组之间仅有一位不同。在后续的卡诺图化简中应用到格雷码的这一特性。常见的 3 位以内的格雷码的排列如表 2-2 所示。

表 2-2 3 位以内的格雷码的排列

顺序	1	2	3	4	5	6	7	8
1 位格雷码	0	1						
2 位格雷码	00	01	11	10				
3 位格雷码	000	001	011	010	110	111	101	100

2.2 逻辑函数的表示方法

2.2.1 逻辑函数的概念

1. 逻辑变量

逻辑代数中，也用字母来表示变量，称为逻辑变量。在数字电路中逻辑变量常表现为低电平和高电平，并用二元常量 0 和 1 来表述。此时，0 和 1 不表示数量的大小，而是表示两种对立的逻辑状态。所以逻辑变量的取值只能是 0 或 1。

2. 基本逻辑运算

在逻辑代数中，有与、或、非 3 种基本的逻辑运算。所有的逻辑代数运算都可以由这 3 种基本运算相互组合得到。

(1) 与运算。图 2-1a 给出串联开关灯控电路。电池通过开关 A 和 B 向灯泡 Y 供电，只有开关 A 和 B 同时“闭合”时，灯泡才亮。开关 A 和 B 中只要有一个或两个都“断开”，灯泡 Y 就不会亮。从此电路可总结出如下逻辑关系：只有决定一个事件（灯 Y “亮”）的所有条件（开关 A “闭

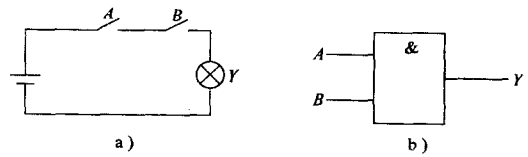


图 2-1 串联开关灯控电路和“与门”逻辑符号
a) 串联开关灯控电路 b) “与门”逻辑符号

合”、开关 B “闭合”) 都具备时，这件事（灯 Y “亮”) 才发生，否则这件事不发生（灯 Y “灭”)，这种逻辑关系称为与逻辑。用表格来描述此逻辑关系可得表 2-3。如将此表用二元常量来表示，设开关“断开”和灯“灭”都用 0 表示，而设开关“闭合”和灯“亮”都用

1 表示, 并将输入、输出变量都用逻辑变量表示, 则得逻辑真值表 (表 2-4)。

若用逻辑表式来描述, 则可写为

$$Y = A \cdot B$$

式中, 小圆点 “ $\cdot$ ” 表示 “与” 的意思。在不引起混淆的前提下, 逻辑与 “ $\cdot$ ” 常被省略, 写成 $Y = AB$ 。逻辑与也称作逻辑乘。

表 2-3 与逻辑关系表

开关 A	开关 B	灯 Y
断开	断开	灭
断开	闭合	灭
闭合	断开	灭
闭合	闭合	亮

表 2-4 与逻辑真值表

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

与运算的规则是: 输入变量 A、B 全为 1 时, 输出变量为 1, 否则输出变量为 0。

在数字电路中实现与逻辑功能的电路称为 “与门”。“与门” 的逻辑符号如图 2-1b 所示。该符号表示两个输入的与逻辑关系。

(2) 或运算。图 2-2a 给出并联开关灯控电路。电池通过开关 A 或 B 向灯泡 Y 供电, 只要开关 A 或开关 B 或者两个开关都 “闭合”, 灯泡就亮。而开关 A 和 B 两者都 “断开”, 灯泡 Y 才不亮。由此可总结出如下逻辑关系: 在决定一个事件 (灯 Y “亮”) 的几个条件 (开关 A “闭合”、开关 B “闭合”) 中只要有一个或一个以上条件具备时, 这件事 (灯 Y “亮”) 就发生, 只有条件全不具备时, 这件事才不发生 (灯 Y “灭”), 这种逻辑关系称为或逻辑。或逻辑的真值表如表 2-5 所示。

或运算的逻辑表达式可写为

$$Y = A + B$$

式中的 “+” 表示 A、B 的或运算, 也称为逻辑加。注意, 逻辑或运算与二进制加法运算是不同的概念。在二进制加法中, $1+1=10$, 此时的 0 和 1 表示数码, 它们的组合表示数量的大小。而在逻辑或运算中, 若输入变量 $A=B=1$, 则 $Y=A+B=1+1=1$, 此时 1 表示逻辑变量的取值, 而逻辑变量的取值无大小之分, 只表示两种对立的状态 0 或 1。一个逻辑变量的取值非 0 即 1。

或运算的规则是: 输入变量 A、B 全为 0 时, 输出变量为 0, 否则输出变量为 1。

在数字电路中实现或逻辑功能的电路称为 “或门”。“或门” 的逻辑符号如图 2-2b 所示。

(3) 非运算。图 2-3a 为旁路开关灯控电路。开关 A “断开” 时, 电池通过限流电阻向灯泡 Y 供电, 灯亮。而当开关 A “闭合” 时, 灯泡 Y 两端就被短路, 灯灭。由此得第三种逻辑关系: 决定一个事件 (灯 Y “亮”) 的发生, 是与其相反的条件 (开关 “断开”) 为依据, 这种逻辑关系称为非逻辑。非逻辑

表 2-5 或逻辑真值表

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

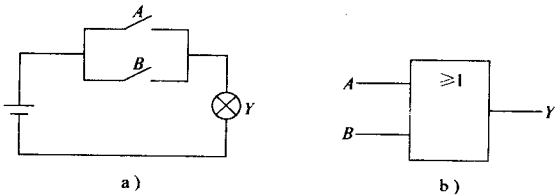


图 2-2 并联开关灯控电路和 “或门” 逻辑符号

a) 并联开关灯控电路 b) “或门” 逻辑符号

的真值表如表 2-6 所示。

非运算的逻辑表达式可写为

$$Y = \overline{A}$$

非运算的规则是：输入变量与输出变量的取值总相反。

在数字电路中实现非逻辑功能的电路称为“非门”。“非门”的逻辑符号如图 2-3b 所示。

表 2-6 非逻辑真值表

A	Y
0	1
1	0

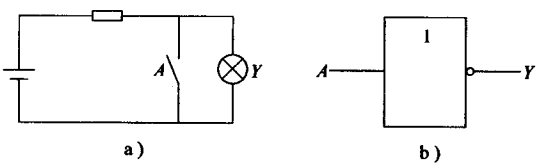


图 2-3 旁路开关灯控电路和“非门”逻辑符号
a) 旁路开关灯控电路 b) “非门”逻辑符号

3. 组合逻辑运算

三种基本逻辑运算与、或、非组合在一起，就形成组合逻辑运算，其运算顺序为：

- (1) 先算与（逻辑乘），后算或（逻辑加）。如 $A + B \cdot C$ ，应先进行与运算，后进行或运算。
- (2) 有括号，先算括号内。如 $(A + B) \cdot C$ ，应先进行括号内的或运算，后进行括号外的与运算。
- (3) 有非号，先算“非”号下的表达式，后进行非运算。如 $\overline{A + B \cdot C}$ ，应先进行与运算，后进行或运算，最后进行非运算。而 $A + \overline{B \cdot C}$ ，应先进行与运算，后进行非运算，最后进行或运算。

几种常用的复合逻辑运算如表 2-7 所示。

注意：表中“与或非运算”的 DEF 逻辑运算符号并没有标出，可取同级的 ABC 输入变量的运算符——与运算。同时，注意异或与同或的逻辑运算符号与表达式的区别。它们的逻辑真值表分别如表 2-8 和表 2-9 所示。

表 2-7 常见的几种复合逻辑运算

名称	逻辑符号	表达式	运算规则
与非运算		$Y = \overline{A \cdot B}$	先与后非
或非运算		$Y = \overline{A + B}$	先或后非
与或非运算		$Y = \overline{ABC + DEF}$	先与再或后非

(续)

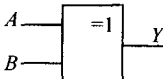
名称	逻辑符号	表达式	运算规则
异或运算		$Y = \bar{A}B + A\bar{B} = A \oplus B$	输入不同输出为 1, 输入相同输出为 0
同或运算		$Y = \bar{A}\bar{B} + AB = A \odot B$	输入相同输出为 1, 输入不同输出为 0

表 2-8 异或运算真值表

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

表 2-9 同或运算真值表

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

4. 逻辑函数

与代数的函数定义相似, 在研究事件的因果变化时, 决定事件变化的因素称为逻辑自变量, 与之对应的事件结果称为逻辑结果, 逻辑自变量与逻辑结果之间的函数关系称为逻辑函数。逻辑函数由与、或、非三种基本逻辑运算组合而成, 其一般表达式为

$$Y = F(A_1, A_2, \dots, A_n)$$

式中, Y 表示输出变量, $A_1, A_2, \dots, A_n$ 表示输入变量, F 表示输入与输出之间的逻辑关系。

2.2.2 逻辑函数的表示方法

逻辑函数的表示方法有逻辑真值表 (简称真值表)、逻辑表达式 (简称表达式)、逻辑图、工作波形图和卡诺图。通过下面的例子, 介绍前面 4 种表示方法, 而卡诺图表示方法在 2.5.2 节中专门讲述。

【例 2-6】 图 2-4 所示是控制卧室照明的电路, 房门旁与床头各安装一个单刀双掷开关 A 和 B , 任一个开关都可以控制卧室的灯 Y 亮与灭。请用逻辑真值表、表达式、逻辑图、波形图来表示开关 A 和 B 与灯 Y 的逻辑关系。

解 (1) 逻辑真值表。

输入变量的所有取值和与其对应的输出变量列成表格, 即是真值表。对上述事件进行分析可得: 开关 A 和开关 B 为输入变量, 灯 Y 为输出变量。设开关向上闭合用 1 表示, 向下闭合用 0 表示; “灯亮” 用 1 表示, “灯灭” 用 0 表示。则可以得到逻辑真值表如表 2-10 所示。

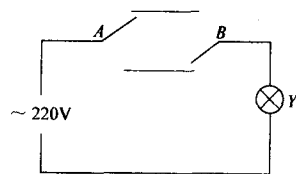


图 2-4 卧室照明电路

分析真值表可发现, 当两个输入变量相同时, 输出为 1; 当两个输入变量不同时, 输出为 0, 即该运算为同或逻辑运算。

(2) 逻辑表达式。将输入变量和输出变量的关系用与、或、非等运算的组合形式表示出来, 即可得到逻辑表达式。它是一种简洁、便于推演与变换的逻辑函数表示方法, 往往可由真值表变换得到。依据表 2-10 进行如下变换: