



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
职业教育电力技术类专业教学用书

# 电子技术基础 (下册)

## 数字部分 (第二版)

王汉桥 主 编  
李保平 龚 敏 副主编



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
职业教育电力技术类专业教学用书

# 电子技术基础

## (下册)

### 数字部分 (第二版)

主 编 王汉桥  
副主编 李保平 龚 敏  
编 写 董寒冰 王和平 宋廷臣  
主 审 谢自美 罗 杰



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

全书分为“模拟部分”、“数字部分”上下两册。上册内容主要包括半导体二极管和三极管、基本放大电路、集成运算放大器及应用、直流电源、场效应晶体管及其放大电路、晶闸管及其应用电路和模拟电子电路实训；下册内容主要包括数字电路基础、集成逻辑门电路与组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、555 定时电路及其应用、A/D 和 D/A、半导体存储器和数字电子电路实训。

本书可作为高职高专教育电力技术类、自动化类、计算机类专业电子技术课程教材，也可作为此类专业的技能培训教材，同时适用于五年制高职高专学生。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术基础. 下册, 数字部分/王汉桥主编. —2 版. —北京: 中国电力出版社, 2010.9

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 0874 - 9

I. ①电… II. ①王… III. ①电子技术—成人教育: 高等教育—教材②数字电路—电子技术—成人教育: 高等教育—教材  
IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 179828 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2006 年 8 月第一版

2010 年 10 月第二版 2010 年 10 月北京第四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 204 千字

定价 13.60 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前言

---

本书再版是在第一版（2006年）的基础上，总结全体编者四年多来的教学实践经验，在原有的框架下进行了修改、增删，主要做了以下几个方面的工作。

(1) 为进一步加强高职高专教育培养应用型人才的实际需要，按照重实训能力训练的原则，在做电路分析、举例时，引导学生熟悉电路实验、实训的方式方法，提高实际操作能力，进而加深对理论知识的理解。例如，增加了模拟部分（上册）第二章第三节、第四节的例子和说明。

(2) 根据高职高专层次培训目标的要求和现代科学技术发展的需要，在保证本课程教学任务完成的前提下，对各章节内容进行了精选，例如，删除了模拟部分“选用模块”中第六章中的第五节、第六节和第八节。

(3) 为普及计算机知识作些铺垫、开拓学生的知识广度，在数字部分（下册）的“选用模块”中，增加了一章“半导体存储器”，介绍了随机存储器和只读存储器的原理和使用方法。

(4) 为有利于培养学生分析问题、解决问题的能力，按照循序渐进的原则，对部分章节内容进行了调整和适当的增加，如模拟部分的“负反馈放大电路”、“直流电源”和数字部分的“编码器”等内容，通过调整，使其内容和逻辑关系更趋合理。

本版仍然沿用从模拟部分到数字部分的体系，每部分都有“基础模块”和“选用模块”两大部分。如有需要从数字到模拟的体系，可将“半导体二极管和三极管”一章移到下册数字部分之前讲授。

参加模拟部分再版工作的主要有王汉桥（第一、二、三、四、六章）、王和平（第一、二章）；参加数字部分再版工作的有李保平（第三、四章）、王和平（第一、二、三、五章）、王汉桥（第二、七章）；宋廷臣（第六章“半导体存储器”）。本书再版由王汉桥担任主编，负责全书的组织、修改和定稿。<http://jc.cepp.com.cn> 提供本教材的电子课件，读者在使用时可根据需要进行修改。

本版虽有所改进和提高，但不可避免地还存在错误和不妥之处，敬请同行和读者批评指正。

编者

2010年7月

# 第一版前言

---

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的，并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审，又列为全国电力职业教育规划教材，作为职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

《电子技术基础》是一门培养学生掌握电子技术方面知识和技能的基础课程，主要介绍常用的半导体器件组成的基本电子电路的原理和应用。

本书分“模拟部分”、“数字部分”上下两册。为了适应现代社会快速发展的需求，教材在内容上注重器件外特性的介绍和常用电路的分析；为了适应各种专业和层次的需要，教材在每册中又分“基础模块”和“选用模块”部分，便于使用者根据需要取舍。

在教材编写方针上：编者注意总结多年教学实践经验，力求深入浅出，联系工程实际，讲清基本概念和基本分析方法，介绍常用的各种电路工作原理，并且注重元件识别、测试方法的介绍，使学生通过学习，掌握电子技术中各种基本电路的组成原理、工作原理、性能特点等，具备初步查阅电子元器件手册并合理选用元器件的能力，以及阅读和应用常见模拟电路及数字电路的基本技能。

在教材编写宗旨上：编者即按照教育部颁发的相关专业的基本要求，又考虑到应用型人才培养的特殊性，力求教材在编撰体系、内容更新、能力培养等方面有所突破。

在教材编写思路上：编者主张“教材内容精选、基础理论精炼、重视元器件认识、课后练习对路适中、实训内容实用”等。

总之，本教材有以下具体特点：

(1) 教材内容尽量做到简明易懂，讲述内容尽量抓住最基本、较广泛应用的知识说明上，给学生在读图、设计时以引导作用，便于自学。

(2) 尽量削减分立元件电路的内容，加强对集成电路的介绍，同时加强一些新知识、新器件的介绍，使教材具有一定的先进性。

(3) 为了加强本书的实用性，在介绍基本电路和与之相关的基本概念、基本原理、基本方法后，尽可能地联系实际介绍常见的、新颖的电路，着力提高学生的实际应用能力，体现应用型人才的培养思路。

(4) 为了有助于学生掌握所学内容，各章节配有合适的练习题或自测题。

(5) 实训部分一并编入教材，放在每册的最后一章，可作为相关专业实习训练时选择。

(6) 在编排上,对于加深和加宽的内容,均放在“选学模块”中,以便于选讲和读者自学。

本书可作为电力类、动力类、工业自动化类、计算机等类专业开设的电子课程教材,适用于此类专业领域技能培训学员和五年制高职高专学生。

参与本教材编写工作的教师有:

武汉电力职业技术学院王汉桥(上册“模拟部分”第一、二章);

长沙电力职业技术学院龚敏(上册“模拟部分”第三章);

长沙电力职业技术学院董寒冰(上册“模拟部分”第四、五、六章);

山西电力职业技术学院王和平(下册“数字部分”第一、二、五章);

保定电力职业技术学院李保平(下册“数字部分”第三、四章);

武汉电力职业技术学院宋廷臣(上册“模拟部分”第七章,下册“数字部分”第六章)。

王汉桥担任该教材主编,并负责对各章节润色和定稿,龚敏、李保平担任副主编,分别对上下册进行了初步统稿。

华中科技大学谢自美教授、罗杰副教授担任该教材主审。

由于编者学术水平及实践经验有限,书中不当和错误之处在所难免,敬请专家、同行和读者们批评指正。

**编者**

2006年5月

# 目 录

---

## (下 册) 数 字 部 分

前言

第一版前言

### 基 础 模 块

<b>第 1 章 数字电路基础</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 数制和 BCD 码.....	1
1.3 基本逻辑门电路 .....	5
1.4 逻辑代数基础 .....	9
1.5 逻辑函数的化简.....	12
习题 .....	18
<b>第 2 章 集成逻辑门电路与组合逻辑电路</b> .....	21
2.1 TTL 集成逻辑门电路 .....	21
2.2 CMOS 集成门电路 .....	26
2.3 组合逻辑电路.....	28
2.4 编码器、译码器和数码显示器.....	32
2.5 数据选择器和数据分配器.....	40
习题 .....	44
<b>第 3 章 触发器与时序逻辑电路</b> .....	47
3.1 触发器.....	47
3.2 时序逻辑电路分析.....	56
3.3 计数器.....	59
3.4 寄存器.....	73
习题 .....	79

## 选 用 模 块

<b>第 4 章 555 定时电路及其应用</b> .....	86
4.1 555 定时器电路的基本结构及工作原理 .....	86
4.2 555 定时器的应用 .....	88
习题 .....	93
<b>第 5 章 A/D 和 D/A</b> .....	94
5.1 D/A 转换器 (DAC) .....	94
5.2 A/D 转换器 (ADC) .....	97
习题 .....	99
<b>第 6 章 半导体存储器</b> .....	100
6.1 概述 .....	100
6.2 随机存取存储器 (Random Access Memory, RAM) .....	101
6.3 只读存储器 (Read Only Memory, ROM) .....	106
6.4 存储器与 CPU 的连接 .....	111
习题 .....	113
<b>第 7 章 数字电子电路实训</b> .....	115
7.1 数字钟的构成 .....	115
7.2 数字钟的电路选择 .....	116
7.3 数字钟电路仿真 .....	123
7.4 数字钟的安装与调试 .....	123
7.5 数字钟的设计与制作任务书 .....	125
附录 1 TTL 电路数字钟参考电路 .....	126
附录 2 CMOS 电路数字钟参考电路 .....	127
参考文献 .....	128



# 基 础 模 块

## 第 1 章 数 字 电 路 基 础

### 1.1 概 述

电子电路可分为两大类：一类是模拟电子电路，另一类是数字电子电路。在时间和数值上均连续变化的电信号，称为模拟信号。工作于模拟信号下的电子电路称为模拟电子电路（简称模拟电路）。例如，热电偶在工作时输出的电压信号就属于模拟信号，因为在任何情况下被测温度都不可能发生突变，所以测得的电压信号无论在时间上还是在数值上都是连续的。而且这个电压信号在连续变化过程中的任何一个取值都有具体的物理意义，即表示一个相应的温度。电子电路中还有一种在时间上和数值上不连续的离散电信号，称为数字信号。例如，用电子电路记录自动生产线上成品的数量时，所处理的信号在时间上和数量上都是不连续的。工作于数字信号下的电子电路称为数字电子电路（简称数字电路）。

数字电路中使用的数字信号很简单，只有高电平和低电平两个状态，这可以用最简单的数字“1”和“0”表示，而且这两个状态可以方便地利用三极管的截止与饱和来实现，所以晶体管在数字电路中，通常工作在开关状态。数字电路研究的主要问题是输入状态和输出状态之间的逻辑关系，所以数字电路又称为逻辑电路。它的主要分析工具是逻辑代数。

### 1.2 数制和 BCD 码

#### 1.2.1 数制

数字电路中经常使用的计数进制除了十进制以外，还经常使用二进制等。

##### 1. 十进制

日常生活和工作中，人们习惯使用十进制数。在十进制数中，有 0~9 十个数码，所以十进制的基数是 10。

十进制的进位法则是逢十进一，就是低位计满十，向高位进一，或从高位借一，到低位就是十。

相同的十进制数，处于不同的位置，所表示的大小不同。例如

$$(3333)_{10} = 3 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 3 \times 10^0$$

式中： $10^0$ ， $10^1$ ， $10^2$  和  $10^3$  称为相应各位的权值，权值是从右到左逐位扩大 10 倍，而 3，3，3，3 称为系数。

任意一个十进制数的大小都可以用这个数的各位系数与各位权值乘积之和来表示。任意十进制数均可展开为

$$(N)_{10} = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} k_i \times 10^i \quad (1.2.1)$$

式中： $k_i$  是第  $i$  位的系数，它可以是 0~9 数码中的任何一个； $i$  可为  $-\infty \sim +\infty$  之间的任意整数。

##### 2. 二进制

目前在数字电路中应用最广的是二进制数。二进制有两个数码 0 和 1，因此，二进制的

基数是 2。二进制的进位法则是逢二进一，就是低位计满二，向高位进一。例如：二进制数 1101 可以表示为

$$(1101)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

式中： $2^0$ ， $2^1$ ， $2^2$  和  $2^3$  称为二进制相应各位的权值，权值是从右到左逐位扩大 2 倍，而 1，1，0，1 称为二进制的各位系数。

任意一个二进制数的大小可以用这个数的各位系数与各位权值乘积之和来表示。任意二进制数均可以展开为

$$(N)_2 = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} k_i \times 2^i \quad (1.2.2)$$

式中： $k_i$  是第  $i$  位的系数，它可以是 0，1 数码中的任何一个， $i$  可为  $-\infty \sim +\infty$  之间的任意整数。

将二进制数展开后，还可以计算出它所表示的十进制数的大小，用括号外加 10 表示。通常十进制数的下标“10”可以省略。

**【例 1.2.1】** 试求二进制数 11010.11 的十进制数值。

**解**  $(11010.11)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (26.75)_{10} = 26.75$

二进制数部分权值见表 1.2.1。

表 1.2.1 二进制数的“权”

$n$	$2^n$	$2^{-n}$
0	1	1.0
1	2	0.5
2	4	0.25
3	8	0.125
4	16	0.0625
5	32	0.03125
6	64	0.015625
7	128	0.0078125
8	256	0.00390625
9	512	0.001953125
10	1024	0.0009765625

### 3. 数制转换

(1) 二—十进制转换。把二进制数转换为等值的十进制数称为二—十进制转换。转换时只要将二进制数按式 (1.2.2) 展开，然后把各项的数值按十进制数相加，就可以得到等值的十进制数。例如

$$(101.11)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 5.75$$

(2) 十—二进制转换。把十进制数转换成等值的二进制数称为十—二进制转换，它可分为整数部分转换和小数部分转换两种情况，下面分别介绍。

1) 整数部分转换。十进制数整数部分转换为二进制数的办法是“除 2 取余”法。这种方法是将十进制数逐次除以 2，依次记下余数，一直

到商数为零时结束。然后将全部余数按相反次序排列起来，就得到等值的二进制数。

**【例 1.2.2】** 将十进制数 25 转换为二进制数。

**解**

2	25	
2	12	……余 1……最低位 $k_0 = 1$
2	6	……余 0…… $k_1 = 0$
2	3	……余 0…… $k_2 = 0$
2	1	……余 1…… $k_3 = 1$
	0	……余 1……最高位 $k_4 = 1$

由以上的分析可知：第一次除 2 所得的余数是转换的二进制数的最低位；最后除 2 所得

的余数是二进制数的最高位。故结果为

$$(25)_{10} = (11001)_2$$

我们可以验证结果是否正确：

$$(11001)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^0 = 16 + 8 + 1 = 25$$

2) 小数部分转换。十进制小数部分转换为二进制数的办法是“乘2取整”法，将十进制数的小数逐次乘以2，依次记下整数。整数的次序是从高位到低位。

**【例 1.2.3】** 将十进制的小数 0.375 转换为二进制。

$$\begin{array}{ll} \text{解} & 0.375 \times 2 = 0.75 \quad \text{整数部分 } k_{-1} = 0 \\ & 0.75 \times 2 = 1.5 \quad \text{整数部分 } k_{-2} = 1 \\ & 0.5 \times 2 = 1.0 \quad \text{整数部分 } k_{-3} = 1 \end{array}$$

到此乘积的小数部分为 0，故结束。

由以上分析可见，第一次乘 2 所得结果的整数，也就是 0，是转换的二进制小数点后第一位，第二次乘 2 所得结果的整数，也就是 1，是二进制数的小数点后第二位。依次类推直到所得乘积小数部分为 0 为止。结果： $(0.375)_{10} = (0.011)_2$ 。

综合整数部分转换和小数部分转换结果，可得

$$(25.375)_{10} = (11001.011)_2$$

#### 4. 八进制和十六进制

由于二进制简单，容易实现，所以它是数字系统中广泛采用的一种数制。但由于使用二进制数经常是位数很多，不便书写和记忆，因此在数字计算机的资料中常采用八进制或十六进制来表示二进制。

在八进制数中，有 0、1、2、3、4、5、6、7 八个数字符号，其运算规则为逢八进一，即  $7+1=10$ ，各位的权为  $8(2^3)$  的幂，任意八进制数均可展开为

$$(N)_8 = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} k_i \times 8^i$$

式中： $k_i$  为基数 8 的第  $i$  项幂的系数。

**【例 1.2.4】** 试求出八进制  $(47)_8$  对应的十进制数。

**解** 将八进制按权展开后，再求各加权系数和

$$(47)_8 = 4 \times 8^1 + 7 \times 8^0 = (39)_{10}$$

**【例 1.2.5】** 试将二进制数  $(11110011010)_2$  转换成八进制数。

**解** 将二进制数从低位到高位，每 3 位数分为一组，最高位不满 3 位的加 0 补足，对应每一组写出相应的八进制数为

$$(11110011010)_2 = (011 \ 110 \ 011 \ 010)_2 = (3632)_8$$

将八进制数转换成二进制数时，只要将每位八进制数写成相应的三位二进制数，再按原顺序排列起来即可得到相应的二进制数。

在十六进制数中，有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A (10)、B (11)、C (12)、D (13)、E (14)、F (15) 十六个不同的数字符号，运算规则为逢十六进一，各位的权为  $16(2^4)$  的幂。任意十六进制数均可表达为

$$(N)_{16} = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} k_i \times 16^i$$

式中： $k_i$  为基数 16 的第  $i$  项幂的系数。

**【例 1.2.6】** 试求出十六进制  $(4AF)_{16}$  对应的十进制数。

**解**  $(4AF)_{16} = 4 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = (1199)_{10}$

**表 1.2.2** 十、二、八、十六进制间关系表

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

**【例 1.2.7】** 试将二进制数  $(1001110010110100)_2$  转换成十六进制数。

**解** 将二进制数中的每 4 位组合与十六进制对应即得十六进制数。

$(1001110010110100)_2 = (1001\ 1100\ 1011\ 0100)_2 = (9CB4)_{16}$

十六进制数转换成二进制数时，只要将每位十六进制数写成相应的四位二进制数，再按原顺序排列起来，即可得到相应的二进制数。

**【例 1.2.8】** 试将十六进制数  $(5BF)_{16}$  转换成二进制数。

**解**  $(5BF)_{16} = (0101\ 1011\ 1111)_2 = (1011011111)_2$

为便于对照，将十进制、二进制、八进制及十六进制之间的关系列于表 1.2.2 中。

### 1.2.2 二—十进制码 (BCD 码)

数字电路是一种处理离散信号的电路。这些离散信号可能是数值、数字、字符或其他信号（如电压、压力、温度等物理量），但是，数字系统只能识别和处理二进制数码。因此，数字系统中的所有信号都要用二进制数码来表示。

不同的数码不仅可以表示数量的不同大小，而且还能用来表示不同的事物。在后一种情况下，这些数码已没有表示数量大小的含义，只是表示不同事物的代号而已。这些数码称为代码。 $n$  位二进制代码有  $2^n$  个状态，因此， $n$  位二进制代码最多可以表示  $2^n$  个信息。

例如，我们要通过计算机的键盘将命令、数据和其他信息输入计算机，这个键盘的数字、字母、符号和控制符在输入计算机之后必须首先转换成二进制代码，这样，计算机才能进行各种信息的处理。建立这种代码和字母、符号、十进制数码的一一对应的关系称为编码。

二—十进制数码是一种用四位二进制数来表示一位十进制数的代码，简称 BCD 码。用四位二进制码表示十进制 0~9 十个数码，有很多种编码方法，其中最常用的是 8421BCD 码，常见的几种 BCD 码见表 1.2.3。

8421BCD 码每一位都具有同二进制

**表 1.2.3** 常见的几种 BCD 码

十进制数	编码种类			
	8421 码	5421 码	2421 码	5211 码
0	0000	0000	0000	0000
1	0001	0001	0001	0001
2	0010	0010	0010	0100
3	0011	0011	0011	0101
4	0100	0100	0100	0111
5	0101	1000	1011	1000
6	0110	1001	1100	1001
7	0111	1010	1101	1100
8	1000	1011	1110	1101
9	1001	1100	1111	1111
权	8421	5421	2421	5211

数相同的数值，即从高位到低位有 8, 4, 2, 1 的位权，因此称为 8421BCD 码。8421BCD 码选取 16 种组合中的前 10 种，即 0000~1001，其余 6 种 1010~1111 是没有使用的状态。表中还列有 5421BCD 码，其二进制代码的位权从左到右依次为 5、4、2、1，因而得名。

一个多位十进制数可用多组 8421BCD 码来表示，可由高位到低位排列起来，组间留有间隔。例如

$$769 = (0111\ 0110\ 1001)_{8421\text{BCD}}$$

将多位 8421BCD 码转换成十进制数是很简单的，只要逐位将 8421BCD 码转换成十进制数，然后由高位到低位依次排列下来即可。例如

$$(0101\ 0010\ 1000.\ 1001\ 0110\ 0100)_{8421\text{BCD}} = 528.964$$

由表 1.2.3 可知，两种 BCD 码所对应的十进制数并不完全相同，如二进制代码 1001 在 8421BCD 码中表示十进制数 9，而 5421BCD 码中则表示 6。因此，要特别注意，代码只是一个符号，没有数值大小，与二进制数的含义不同，两者不能混淆。

### 1.3 基本逻辑门电路

所谓逻辑关系是指事物之间的因果关系，即“条件”与“结果”的关系。能实现逻辑关系的电路称为逻辑门电路，简称门电路。最基本的逻辑关系有与逻辑、或逻辑和非逻辑三种。相应的最基本的逻辑电路也有与门、或门和非门三种。门电路可以用二极管、三极管等分立元件构成，还可以制成集成门电路。

#### 1.3.1 与逻辑和与门电路

##### 1. 与逻辑

先看一个简单的例子。图 1.3.1 是实现与逻辑关系的开关电路，在电路中只有当串联的开关 A 与 B 都闭合时，灯 Y 才亮。这里开关为条件，灯亮为结果。

与逻辑的因果关系是指：只有当决定一个事件的所有条件都成立时，事件才会发生。如果我们用 Y 来表示某一个事件的发生与否，用 A 和 B 分别表示决定这个事件发生的两个条件，那么与逻辑可用逻辑函数表达式表示为

$$Y = A \cdot B \text{ 或 } Y = AB \quad (1.3.1)$$

式中：“·”为与逻辑的运算符号，也表示逻辑乘，在运算中可以省略；A 和 B 是逻辑变量；Y 是 A 和 B 的逻辑函数，表示逻辑乘的结果。

在数字电路中常用输入信号表示“条件”A 和 B，用输出信号表示“结果”Y。因为数字电路中输入和输出只有高电平和低电平两种状态，所以逻辑变量也只有两种状态，通常用 1 和 0 表示。

作为逻辑取值的 1 和 0 并不表示数值的大小，而是表示完全对立的两个逻辑状态，可以是条件的有或无，事件的发生或不发生，灯的亮或灭，开关的通或断，电压的高或低等。这里必须注意，逻辑取值的 0 和 1 不同于前述二进制数的 0 和 1。

与逻辑的运算规则

$$0 \cdot 0 = 0 \quad 0 \cdot 1 = 0$$

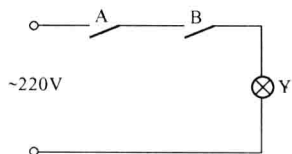


图 1.3.1 与逻辑开关电路

$$1 \cdot 0 = 0 \quad 1 \cdot 1 = 1$$

以上逻辑乘的结果和普通代数的乘法是一样的, 但两者有本质的区别。

## 2. 与门

在数字电路中, 实现与逻辑关系的最简单的电路是由二极管组成的与逻辑电路。图 1.3.2 是由二极管组成的两个输入端的与门电路和逻辑符号。A 和 B 为输入信号, Y 为输出信号。假定二极管为锗管, 正向压降可忽略不计, 输入高电平为 3V, 低电平为 0V, 下面我们分四种不同情况进行讨论。

(1) 输入端 A、B 都为低电平, 即  $U_A = U_B = 0V$ 。这时, V1、V2 都处于正向偏置, 均导通。由于二极管的钳位作用,  $U_Y = 0V$ 。

(2) 输入端 A 为低电平  $U_A = 0V$ , B 为高电平  $U_B = 3V$ 。V1 管两端的电位差大于 V2 管, 故 V1 优先导通。由于二极管的钳位作用,  $U_Y = 0V$ , 使 V2 管反偏, 处于截止状态。

(3) 输入端 A 为高电平  $U_A = 3V$ , B 为低电平  $U_B = 0V$ 。同理, V2 优先导通,  $U_Y = 0V$ , 使 V1 反偏而截止。

(4) 输入端 A、B 都为高电平, 即  $U_A = U_B = 3V$ 。这时, V1 和 V2 均处于正偏而导通,  $U_Y = 3V$ 。

将上述输入、输出电压之间一一对应关系列表, 见表 1.3.1。我们假定用高电平 3V 代表逻辑取值 1, 用低电平 0V 代表逻辑取值 0, 则可以得到输入—输出的与逻辑真值表, 见表 1.3.2。

表 1.3.1 输入—输出电压对应关系表

输入 (V)		输出 (V)
$U_A$	$U_B$	$U_Y$
0	0	0
0	3	0
3	0	0
3	3	3

表 1.3.2 与逻辑真值表

输入变量		输出变量
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

由表 1.3.2 可以看出: 只有输入信号 A 和 B 都为 1 时, 输出信号 Y 才为 1。简单记为“见 0 出 0, 全 1 出 1”。

对于多个输入端的与门电路, 其逻辑表达式为

$$Y = A \cdot B \cdot C \cdots$$

波形图是用来表示逻辑电路输入、输出信号随时间变化的图形, 具有形象直观的优点, 便于用示波器进行观察。图 1.3.3 (a)、(b) 分别是图 1.3.2 (a) 电路的输入波形, 根据与门的逻辑关系, 可以画出输出 Y 的波形, 如图 1.3.3 (c) 所示。

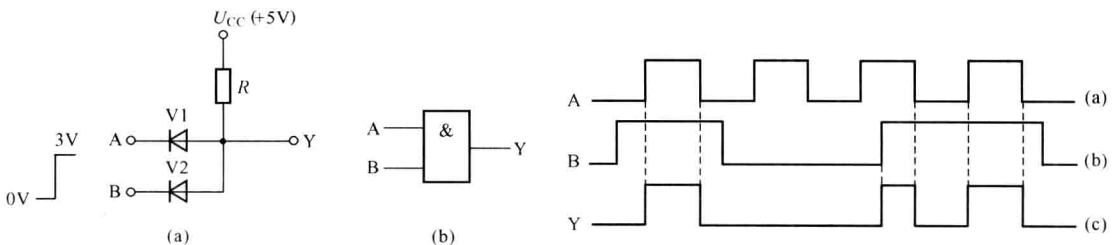


图 1.3.2 二极管与门电路和符号

(a) 电路; (b) 逻辑符号

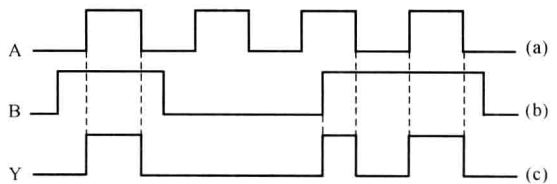


图 1.3.3 与门输入和输出波形图

(a) 输入 A 波形; (b) 输入 B 波形; (c) 输出 Y 波形

### 1.3.2 或逻辑和或门电路

#### 1. 或逻辑

图 1.3.4 所示为实现或逻辑关系的开关电路。电路中的开关 A 或 B 有一个或一个以上闭合，灯 Y 就亮。

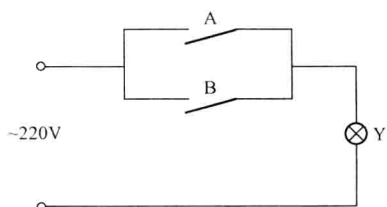


图 1.3.4 或逻辑开关电路

或逻辑的因果关系是指只要在决定一个事件的许多条件中，满足一个或一个以上的条件，事件就会发生。或逻辑可用逻辑函数表达式表示为

$$Y = A + B \quad (1.3.2)$$

式中：“+”为逻辑或运算符号，也表示逻辑加。Y 是逻辑加的结果，A+B 读做“A 或 B”。

或逻辑的运算规则为

$$\begin{aligned} 0+0 &= 0 & 0+1 &= 1 \\ 1+0 &= 1 & 1+1 &= 1 \end{aligned}$$

应当注意：逻辑加法与普通代数的加法并不完全相同。普通代数二进制加法  $1+1=10$ ，但逻辑加  $1+1=1$ 。前者是数量之和，而后者表示“条件”与“结果”之间的或逻辑关系。

#### 2. 或门

两个输入端的二极管或门电路及逻辑符号如图 1.3.5 所示。该电路输入输出情况由读者自行分析。

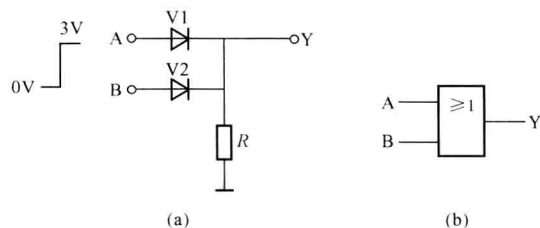


图 1.3.5 二极管或门电路和逻辑符号  
(a) 电路图；(b) 逻辑符号

表 1.3.3 所列为或逻辑关系真值表。从表中可以看出，只要输入有一个 1，输出就为 1，简单记为“见 1 出 1，全 0 出 0”。

若图 1.3.6 (a)、(b) 分别是图 1.3.5 (a) 电路的输入波形，根据或门的逻辑关系，可以画出输出 Y 的波形如图 1.3.6 (c) 所示。

表 1.3.3 或逻辑真值表

输入变量		输出变量
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

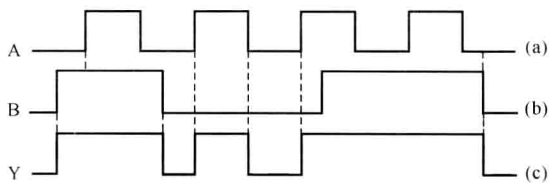


图 1.3.6 或门输入和输出波形  
(a) 输入 A 波形；(b) 输入 B 波形；(c) 输出 Y 波形

### 1.3.3 非逻辑和非门电路

#### 1. 非逻辑

图 1.3.7 所示实现非逻辑关系的开关电路，在电路中，开关 A 不闭合时，灯 Y 才会亮。

非逻辑的因果关系是指：当一个条件满足时，事件不会发生，而此条件不满足时，事件一定发生。逻辑变量 A 的非逻辑可用逻辑函数表达式表示为

$$Y = \bar{A} \quad (1.3.3)$$

式中：“—”为非逻辑的运算符号， $\bar{A}$ 读做“A非”。非逻辑运算也称为逻辑否定或逻辑反。

非逻辑的运算规则为

$$\bar{0} = 1 \quad \bar{1} = 0$$

## 2. 非门

由三极管构成的非门电路及逻辑符号如图 1.3.8 所示。该电路工作情况是：当输入 A 为高电平 +3V 时，合理选择电路参数，使三极管 V 饱和导通，饱和压降  $U_{CES} = 0V$ ，相当于开关闭合，输出 Y 为低电平  $U_Y = 0$ ；当输入 A 为低电平 0V 或负值时，三极管 V 的发射结零偏置或反偏，即  $U_{BE} \leq 0$ ，使三极管截止，即  $I_C \approx 0$ ，相当于开关断开，输出 Y 为高电平  $U_Y = U_{CC}$ 。实现了“非”逻辑功能。

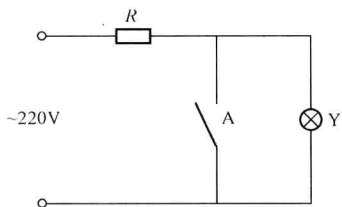


图 1.3.7 非逻辑关系开关电路

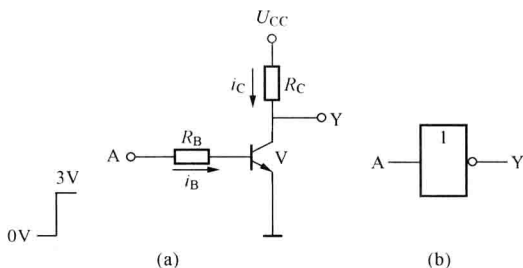


图 1.3.8 三极管非门电路和逻辑符号

(a) 电路图；(b) 逻辑符号

根据上述分析结果，可得到电路逻辑真值表，见表 1.3.4。由真值表可知，输出总是输入的否定，是非逻辑关系。非门的输出和输入反相，故又称反相器。非门电路的波形如图 1.3.9 所示。

表 1.3.4 非门逻辑真值表

输入变量	输出变量
A	Y
0	1
1	0

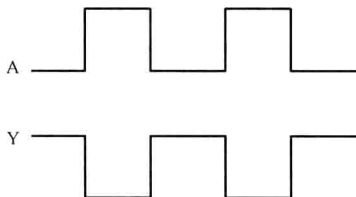


图 1.3.9 非门输入和输出波形

应当注意：非门逻辑符号中输出端的小圆圈表示反相（非）的意思。

### 1.3.4 复合逻辑关系和复合门电路

将上述三种基本门电路组合在一起，可以得到具有复合逻辑关系的多种复合门电路。用得较多的有与非门、或非门、异或门、同或门和与或非门等。它们的逻辑符号、逻辑表达式和输入输出情况见表 1.3.5。

与非门是由与门和非门构成的。由表 1.3.5 可知：只有当输入全为 1 时，输出才为 0；它只要有一个输入为 0，输出即为 1。简言之，见 0 出 1，全 1 出 0。

或非门是由或门和非门构成的。由表 1.3.5 可知：只有当输入全为 0 时，输出才为 1；它只要有一个输入为 1，输出即为 0。简言之，见 1 出 0，全 0 出 1。



表 1.3.5 常见的几种复合逻辑门电路

逻辑关系	与非	或非	异或	同或	与或非
逻辑表达式	$Y = \overline{AB}$	$Y = \overline{A+B}$	$Y = \overline{A}B + A\overline{B}$ $= A \oplus B$	$Y = AB + \overline{A}\overline{B}$ $= \overline{A \oplus B}$	$Y = \overline{AB+CD}$
逻辑符号					
变量 A B					
0 0	1	1	0	1	当 AB 或 CD 或 ABCD 同时为 1 时, Y = 0; 其余情况 Y = 1
0 1	1	0	1	0	
1 0	1	0	1	0	
1 1	0	0	0	1	

异或门是由与、或和非三种门电路构成的。由表 1.3.5 可知：它的两个输入不相同时，输出为 1；相同时，输出为 0。

同或门是异或门求反而得到的。由表 1.3.5 可知：它的两个输入相同时，输出为 1；不相同，输出为 0。

与或非门是由与门、或门和非门构成的。当输入 AB 或 CD 或 ABCD 同时为 1 时，输出为 0；其余情况输出为 1。

### 1.3.5 正逻辑和负逻辑

在数字电路中，逻辑规定分为正逻辑和负逻辑。用电路的高电平代表逻辑 1，低电平代表逻辑 0，这种逻辑规定称为正逻辑。用电路的低电平代表逻辑 1，高电平代表逻辑 0，这种逻辑规定称为负逻辑。

对于一个数字电路，可以采用正逻辑，也可以采用负逻辑。同一电路，如果采用不同的逻辑规定，那么电路所实现的逻辑关系不同。前面的分析都是采用的正逻辑规定，现将图 1.3.2 与逻辑关系的真值表（表 1.3.2）采用负逻辑分析，即 1 和 0 对换，得到表 1.3.6，可以看出现在是或逻辑关系了。这就是说，同一门电路采用正逻辑分析是与门，而采用负逻辑分析就是或门。各种门的正、负逻辑对应关系见表 1.3.7。

表 1.3.6 负或门逻辑真值表

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

表 1.3.7 正负逻辑对应关系

正逻辑	负逻辑
与门	或门
或门	与门
与非门	或非门
或非门	与非门
非门	非门

## 1.4 逻辑代数基础

逻辑代数又称布尔代数，是 19 世纪英国数学家乔治·布尔创立的。它是分析和设计数