



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

王汉桥 主 编
龚 敏 李保平 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
全国电力职业教育规划教材

电气制图与识图
电气制图与识图习题集
机械基础
电工学(上、下册)
电路基础
电工仪表与测量
电工材料
电工工艺实习
电工技能训练
高级电工技能训练
维修电工技能训练
电子技术基础(上册)模拟部分
▶ **电子技术基础(下册)数字部分**
电子技术基础(中职)
电子技能训练
电机学
电机与拖动基础
电机原理与维修
可编程控制器原理及应用
安全用电
电气安全作业
电气测量
电力拖动控制线路与技能训练
电力系统通信与网络技术
电气安装与调试技术
企业供电系统及运行
工厂电气控制技术
工厂供配电技术
电力电缆
电力法律法规教程
电力电子技术

李显民主编
李显民主编
宋云京等合编
王浩主编
程隆贵主编
贺令辉主编
曾荣主编
周卫星等合编
宋美清主编
杨金桃主编
李高明主编
王汉桥主编
王汉桥主编
王秀珍等主编
王锦主编
叶水音主编
刘景峰主编
宋美清主编
谢伟红等合编
郭莉鸿等合编
赵守忠主编
程隆贵等合编
程建龙等合编
钟西炎主编
盛国林主编
卢文鹏主编
李道霖等主编
王宇等合编
郑国强主编
乔新国主编
袁燕主编

ISBN 7-5083-4548-7



9 787508 345482 >

ISBN 7-5083-4548-7

下册定价: 10.60 元



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

主 编 王汉桥
副主编 龚 敏 李保平
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；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。

本书编者在教材编写宗旨上，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。

本书可作为电力类、动力类、工业自动化类、计算机等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。

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. —北京: 中国电力出版社, 2006

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7-5083-4548-7

I. 电… II. 王… III. 数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 076847 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 8 月第一版 2006 年 8 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 8.25 印张 170 千字
印数 0001—3000 册 下册定价 10.60 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

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 数 分

前言

基 础 模 块

第 1 章 数字电路基础	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
第 2 章 集成逻辑门电路与组合逻辑电路	20
2.1 TTL 集成逻辑门电路	20
2.2 CMOS 集成门电路	25
2.3 组合逻辑电路	27
2.4 编码器、译码器和数码显示器	30
2.5 数据选择器和数据分配器	37
习题	40
第 3 章 触发器与时序逻辑电路	43
3.1 触发器	43
3.2 时序逻辑电路分析	52
3.3 计数器	55
3.4 寄存器	68
习题	74

选 用 模 块

第 4 章 555 定时电路及其应用	80
4.1 555 定时器电路的基本结构及工作原理	80
4.2 555 定时器的应用	82
习题	87
第 5 章 A/D 和 D/A	88
5.1 D/A 转换器 (DAC)	88
5.2 A/D 转换器 (ADC)	91
习题	93
第 6 章 数字电子电路实训	94
6.1 数字钟的构成	94
6.2 数字钟的电路选择	95
6.3 数字钟电路仿真	102
6.4 数字钟的安装与调试	102
6.5 数字钟的设计与制作任务书	104
附录 1 TTL 电路数字钟参考电路	105
附录 2 CMOS 电路数字钟参考电路	106
参考文献	107

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，一类叫模拟电子电路，另一类叫数字电子电路。在时间上和数值上连续变化的电信号，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】 求二进制数 11010.11 的十进制数值。

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

二进制数部分权值如表 1.2.1 所示。

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公式 (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

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

(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

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

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。

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

因为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

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

【例 1.2.4】 将十进制数 88.38 转换为二进制数。

解 转换整数 88

$$\begin{array}{ll} 2 \overline{)88} & \dots\dots \text{余 } 0 \dots\dots \text{最低位 } k_0 = 0 \\ 2 \overline{)44} & \dots\dots \text{余 } 0 \dots\dots k_1 = 0 \\ 2 \overline{)22} & \dots\dots \text{余 } 0 \dots\dots k_2 = 0 \\ 2 \overline{)11} & \dots\dots \text{余 } 0 \dots\dots k_3 = 0 \\ 2 \overline{)5} & \dots\dots \text{余 } 1 \dots\dots k_4 = 1 \\ 2 \overline{)2} & \dots\dots \text{余 } 1 \dots\dots k_5 = 1 \\ 2 \overline{)1} & \dots\dots \text{余 } 0 \dots\dots k_6 = 0 \\ 0 & \dots\dots \text{余 } 1 \dots\dots \text{最高位 } k_7 = 1 \end{array}$$

转换小数 0.38

$$\begin{array}{ll} 0.38 \times 2 = 0.76 & \text{整数部分 } k_{-1} = 0 \\ 0.76 \times 2 = 1.52 & \text{整数部分 } k_{-2} = 1 \\ 0.52 \times 2 = 1.04 & \text{整数部分 } k_{-3} = 1 \\ 0.04 \times 2 = 0.08 & \text{整数部分 } k_{-4} = 0 \\ 0.08 \times 2 = 0.16 & \text{整数部分 } k_{-5} = 0 \\ 0.16 \times 2 = 0.32 & \text{整数部分 } k_{-6} = 0 \\ 0.32 \times 2 = 0.64 & \text{整数部分 } k_{-7} = 0 \\ 0.64 \times 2 = 1.28 & \text{整数部分 } k_{-8} = 1 \end{array}$$

乘积小数部分不能为0时，可达到所需精度为止，故

$$0.38 = (0.01100001)_2 + e$$

式中 e 为剩余误差， $e < 2^{-8}$ 。

综合整数部分转换和小数部分转换结果，可得

$$88.38 = (1011000.01100001)_2 + e$$

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。这些离散符号可能是数值、数字、字符或其他符

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,数字系统中的所有符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,如表1.2.2所示。

表 1.2.2 几种常见的 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

8421BCD码每一位都具有同二进制数相同的数值,即从高位到低位有8,4,2,1的位权,因此称为8421BCD。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

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

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,然后由高位到低位逐次排列下来即可。例如

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

由表1.2.2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三种：与逻辑、或逻辑和非逻辑。相应的最基本的逻辑电路也有三种：与门、或门和非门。门电路可以用二极管、三极管等分离元件构成，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

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

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

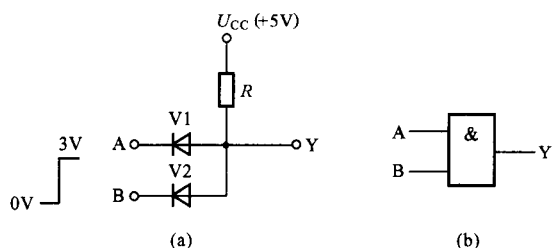


图 1.3.2 二极管与门电路和符号

(a) 电路；(b) 逻辑符号

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，

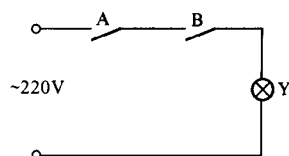


图 1.3.1 与逻辑开关电路

$U_Y=0V$ 。

(2) 输入端 A 为低电平 $U_A=0V$, B 为高电平 $U_B=3V$ 。因 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, $U_Y=3V$ 。

将上述输入与输出电平之间一一对应关系列表, 如表 1.3.1 所示。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 - 输出的逻辑真值表, 如表 1.3.2 所示。

表 1.3.1 输入 - 输出电压关系表

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

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

波形图是用来表示逻辑电路输入和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。

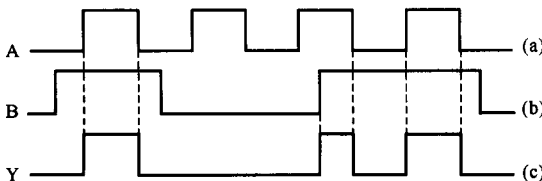


图 1.3.3 与门输入和输出波形图

(a) 输入 A 波形; (b) 输入 B 波形; (c) 输出 Y 波形

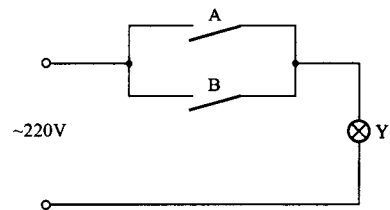


图 1.3.4 或逻辑开关电路

1.3.2 或逻辑和或门电路

1. 或逻辑

图 1.3.4 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。

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

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

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。

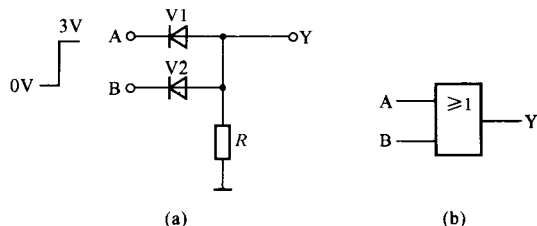


图 1.3.5 二极管或门电路和逻辑符号
(a) 电路图；(b) 逻辑符号

表 1.3.3 所示或逻辑关系真值表。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

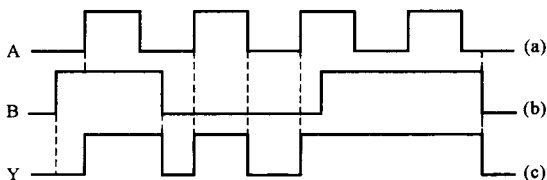


图 1.3.6 或门输入和输出波形

(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 是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

$$Y = \bar{A} \tag{1.3.3}$$

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

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

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。

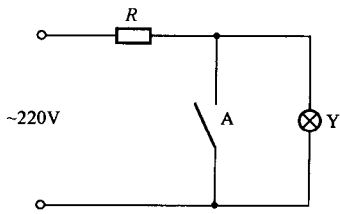


图 1.3.7 非逻辑关系开关电路

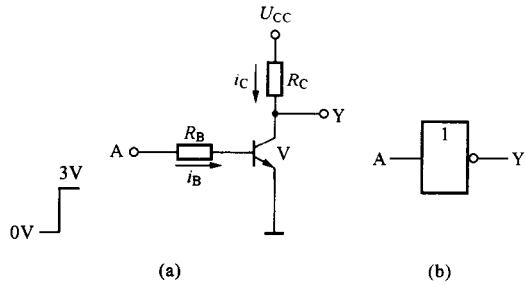


图 1.3.8 三极管非门电路和逻辑符号
(a) 电路图；(b) 逻辑符号

根据上述分析结果，可得到电路逻辑真值表，如表 1.3.4 所示。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

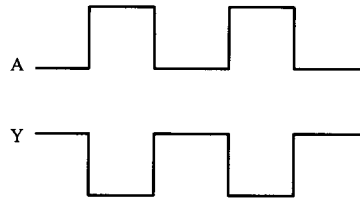


图 1.3.9 非门输入和输出波形

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列于表 1.3.5 中。

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	$Y = \overline{AB}$	$Y = \overline{A+B}$	$Y = \overline{AB} + \overline{A\overline{B}}$ $= A \oplus B$	$Y = AB + \overline{A\overline{B}}$ $= \overline{A \oplus B}$	$Y = \overline{AB+CD}$
逻辑符号					
变量 A B					

续表

逻辑关系	与非	或非	异或	同或	与或非
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，它的两个输入不不同时，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；不不同时，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、负逻辑对应关系列于表 1.3.7 中。

表 1.3.6 负或门真值表

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。它是分析和设计数字电路的数学工具。

逻辑代数与普通代数一样，也用字母表示变量。但逻辑变量的取值很简单，不是 0 就是 1。这里的 0 和 1 不再表示数量的大小，而只表示两种不同的逻辑状态，如信号的有与无，电位的高与低，开关的闭合与断开等。所以逻辑代数比普通代数要简单得多。然而，逻辑代数中也包含一些与普通代数不同的运算规律。因此，我们在学习时应加以注意。