

高等职业技术教育电子电工类专业
“十二五”规划教材

数字电子技术 项目化教程

主编 马艳阳 侯艳红 张生杰
主审 冯向莉



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等职业技术教育电子电工类专业“十二五”规划教材

数字电子技术项目化教程

主 编	马艳阳	侯艳红	张生杰
参 编	王月爱		
主 审	冯向莉		

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书将数字电子技术的基本知识、基本技能、基本分析方法融入其中,同时涵盖了国家相关职业技能标准的各项操作及技能要求。全书采用项目教学、任务驱动、案例教学的方式编写而成。全书共分六个项目,内容包括逻辑测试笔的制作与调试、数码显示器的制作与调试、四路竞赛抢答器的制作与调试、触摸式报警器的制作与调试、三位数显测频仪的制作与调试、数字电压表的制作与调试等。

本书可作为高等职业院校应用电子技术专业、电子信息工程专业、通信技术专业教学用书和国家电子技术职业技能认证的培训教材,也可作为无线电制作爱好者的自学用书,并配有教学网站,包括教学指南、电子教案、课件及习题答案等。

课程网站: <http://jpkc.gfxy.com/2010/dzjs>。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术项目化教程/马艳阳,侯艳红,张生杰主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2013.9

高等职业技术教育电子电工类专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3180-6

I. ①数… II. ①马… ②侯… ③张… III. ①数字
电路—电子技术—高等教育—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第209189号

策划编辑 胡华霖

责任编辑 买永莲 党宏亮 胡华霖

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2013年9月第1版 2013年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 11.5

字 数 268千字

印 数 1~3000册

定 价 18.00元

ISBN 978-7-5606-3180-6/TN

XDUP 3472001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

本书是为适应高等职业院校项目化课程改革需求,培养高等职业技能型人才而编写的高职高专电类专业通用型教材。在编写过程中,编者认真研究了国家职业技能鉴定标准和电子产品生产一线的岗位要求,结合职业教育的实际情况组织教材内容,努力使教材符合理论实践一体化的教学需要。

本书以项目为基本写作单元,根据高等职业院校学生的学习认知规律,在内容安排和表达方式上力求做到理论知识和技术训练相融合,知识引入由浅到深,并通过典型电子产品案例带动知识技能的学习,让学生在“做中学,学中做”,实现理论服务于实践,实践验证理论的学习效果。

本书共六个项目,主要内容包括:逻辑测试笔的制作与调试、数码显示器的制作与调试、四路竞赛抢答器的制作与调试、触摸式报警器的制作与调试、三位数字测频仪的制作与调试、数字电压表的制作与调试等。训练“项目”是本书的结构单元和教学单元,每一个项目又包含相对独立的理论知识和技能训练。学生在完成每个项目时,既能通过针对性的知识学习来指导其完成对应的技能训练,又能通过技能训练过程中的实际感受和直观体会反过来加深对知识的理解,以达到理论学习和技能实践的有机融合。

本书建议学时为108学时,其中授课48学时,技能训练60学时。教师也可根据实际需要自行调整。

本书由陕西国防工业职业技术学院马艳阳、侯艳红、张生杰担任主编,冯向莉担任主审。其中项目一、项目三及拓展知识三由马艳阳编写,项目二、项目四由侯艳红编写,项目五、项目六由张生杰编写,拓展知识一和二由王月爱编写。全书由马艳阳、侯艳红统稿。在编写过程中,编者参考了许多专家学者的著作、习题等资料,另外周永金老师对本书的编写还提出了许多宝贵意见,在这里对所有帮助和支持本书出版的领导、同事表示由衷的感谢。

限于编者水平,书中难免会有不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2013年3月

目 录

项目一 逻辑测试笔的制作与调试	(1)
1.1 项目描述	(1)
1.1.1 项目学习情境：逻辑测试笔的制作与调试	(1)
1.1.2 电路分析与电路元器件参数及功能	(1)
1.2 知识链接	(3)
1.2.1 数字电路的基本概念	(3)
1.2.2 数制和码制	(3)
1.2.3 逻辑代数的基本运算	(7)
1.2.4 逻辑代数的基本定律及基本规则	(9)
1.2.5 逻辑函数的表示方法及其相互转换	(10)
1.2.6 逻辑函数的化简	(13)
1.2.7 集成门电路	(19)
1.3 项目实施	(27)
1.3.1 集成门电路逻辑功能测试训练	(27)
1.3.2 项目操作指导	(28)
1.4 项目总结	(30)
练习与提高 1	(30)
项目二 数码显示器的制作与调试	(34)
2.1 项目描述	(34)
2.1.1 项目学习情境：数码显示器的制作与调试	(35)
2.1.2 电路分析与电路元器件参数及功能	(35)
2.2 知识链接	(36)
2.2.1 组合电路概述	(36)
2.2.2 组合电路的分析	(37)
2.2.3 组合电路的设计	(38)
2.2.4 常用集成组合电路	(40)
2.2.5 组合电路中的竞争和冒险	(63)
2.3 项目实施	(64)
2.3.1 组合逻辑电路的分析、设计测试训练	(64)
2.3.2 译码器测试训练	(66)
2.3.3 数据选择器测试训练	(71)

2.3.4 项目操作指导	(72)
2.4 项目总结	(73)
练习与提高 2	(73)
项目三 四路竞赛抢答器的制作与调试	(77)
3.1 项目描述	(77)
3.1.1 项目学习情境：四路竞赛抢答器的制作与调试	(77)
3.1.2 电路分析与电路元器件参数及功能	(78)
3.2 知识链接	(79)
3.2.1 RS 触发器	(79)
3.2.2 其他功能的触发器	(83)
3.2.3 触发器的相互转换	(86)
3.2.4 集成触发器	(87)
3.3 项目实施	(90)
3.3.1 触发器电路测试训练	(90)
3.3.2 项目操作指导	(92)
3.4 项目总结	(93)
练习与提高 3	(93)
项目四 触摸式报警器的制作与调试	(96)
4.1 项目描述	(96)
4.1.1 项目学习情境：555 定时器构成的触摸式报警器	(96)
4.1.2 电路分析与电路元器件参数及功能	(96)
4.2 知识链接	(98)
4.2.1 脉冲信号	(98)
4.2.2 555 定时器及应用	(99)
4.3 项目实施	(104)
4.3.1 555 时基电路测试训练	(104)
4.3.2 项目操作指导	(106)
4.4 项目总结	(107)
练习与提高 4	(107)
项目五 三位数字测频仪的制作与调试	(109)
5.1 项目描述	(109)
5.1.1 项目学习情境：三位数字测频仪的制作与调试	(109)
5.1.2 电路分析与电路元器件参数及功能	(110)
5.2 知识链接	(112)
5.2.1 时序逻辑电路概述	(112)
5.2.2 时序逻辑电路的一般分析方法	(113)

5.2.3 计数器	(117)
5.2.4 寄存器	(129)
5.3 项目实施	(134)
5.3.1 计数器及其应用测试训练	(134)
5.3.2 移位寄存器及其应用测试训练	(136)
5.3.3 项目操作指导	(139)
5.4 项目总结	(140)
练习与提高 5	(140)
项目六 数字电压表的制作与调试	(144)
6.1 项目描述	(144)
6.1.1 项目学习情境：数字电压表的制作与调试	(144)
6.1.2 电路分析与电路元器件参数及功能	(144)
6.2 知识链接	(146)
6.2.1 模/数(A/D)转换	(146)
6.2.2 数/模(D/A)转换	(149)
6.2.3 集成 A/D 与 D/A 介绍	(151)
6.3 项目实施	(154)
6.3.1 D/A、A/D 转换器测试训练	(154)
6.3.2 项目操作指导	(159)
6.4 项目总结	(161)
练习与提高 6	(161)
附录 拓展知识	(163)
拓展知识一 数字电路测试训练台简介	(163)
拓展知识二 数字电路测试基础知识	(166)
拓展知识三 部分数字集成电路引脚排列图	(169)
参考文献	(176)

项目一 逻辑测试笔的制作与调试

知识目标：

- (1) 了解数字电路的特点与逻辑代数的基本概念。
- (2) 掌握逻辑代数的基本运算及相关运算法则与定律。
- (3) 掌握逻辑函数的表示方法及各种表示方法之间的转换关系。
- (4) 掌握逻辑函数的公式化简法与卡诺图化简法。
- (5) 了解分立元件门电路的组成。
- (6) 掌握各种集成门电路的特点及使用注意事项。

能力目标：

- (1) 了解数字集成电路资料查阅、识别与选取方法。
- (2) 掌握常用门电路的测试方法。
- (3) 初步了解数字电路的故障检修方法。
- (4) 了解数字电路的搭接技巧与集成芯片的焊接方法。
- (5) 能分析逻辑测试笔的工作原理。
- (6) 能对逻辑测试笔进行安装与测试。

1.1 项目描述

数字电路主要研究的是输出信号的状态(0 或 1)与输入信号的状态(0 或 1)之间的关系,这是一种因果关系,也就是所谓的逻辑关系,即电路的逻辑功能。在数字电路中,经常要检测电路的输入与输出是否符合所要求的逻辑关系,但是用万用表测试数字电路电平的高低显得很不方便,可以用逻辑测试笔来测试。逻辑测试笔也叫做逻辑探针,它是数字电路设计、实验、检查和维修中最简单实用的工具。

本项目通过采用集成逻辑门制作逻辑测试笔,来了解数字电路的特征及应用。

1.1.1 项目学习情境：逻辑测试笔的制作与调试

图 1-1 所示为逻辑测试笔的电路原理图,此电路由集成逻辑门构成。本项目需要完成的主要任务是:① 熟悉电路各元器件的作用;② 进行电路元器件的安装;③ 进行电路参数的测试与调整;④ 撰写电路制作报告。

1.1.2 电路分析与电路元器件参数及功能

一、电路分析

如图 1-1 所示电路,当被测点为高电平时,VD₁ 导通,VT₁ 发射极输出高电平,经

U1A 反相后, 输出低电平, LED₁ (红色发光二极管) 导通而发光。此时, VD₂ 截止, U2A 输出低电平, U3A 输出高电平, 使 LED₂ (绿色发光二极管) 截止而不发光, 而 U4A 输出高电平, 使 LED₃ (黄色发光二极管) 截止而不发光。

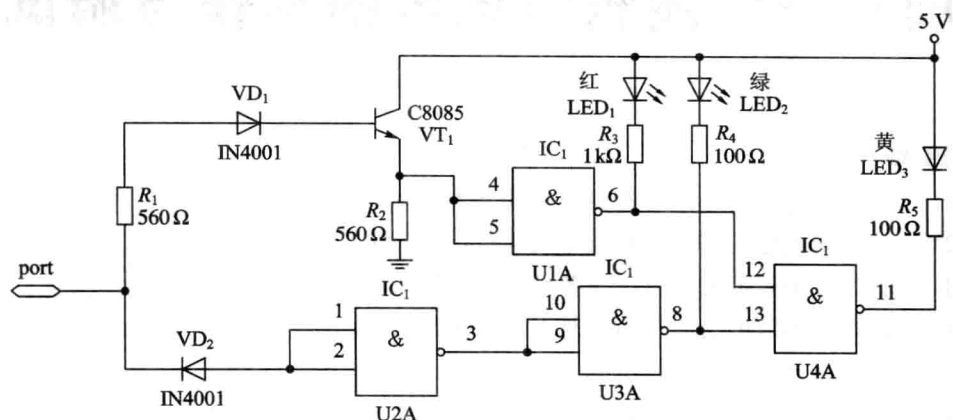


图 1-1 逻辑测试笔电路原理图

当被测点为低电平时, VD₂ 导通, 从而使 U2A 输出高电平, U3A 输出低电平, LED₂ 导通而发光。此时, VD₁ 截止, VT₁ 发射极输出低电平, 经 U1A 反相后, 输出高电平, LED₁ 截止而不发光。由于 U3A 输出低电平, 使 U4A 输出高电平, 则 LED₃ 截止而不发光。

当探针悬空时, U1A 输出高电平, LED₁ 不发光, U2A 输出低电平, U3A 输出高电平, LED₂ 不发光, U4A 输出低电平, 此时 LED₃ 发光。

二、电路元器件参数及功能

逻辑测试笔电路元器件参数及功能如表 1-1 所示。

表 1-1 逻辑测试笔电路元器件参数及功能

序号	元器件代号	名称	型号及参数	功能
1	R ₁	电阻器	RT-0.125-560 Ω±5%	VT ₁ 偏置、限流电阻
2	R ₂	电阻器	RT-0.125-560 Ω±5%	VT ₁ 射极输出电阻
3	R ₄ 、R ₅	电阻器	RT-0.125-100 Ω±5%	发光二极管限流
4	R ₃	电阻器	RT-0.125-1 kΩ±5%	发光二极管限流
5	VD ₁ 、VD ₂	二极管	IN4001	电子开关
6	LED ₁	发光二极管	3122D(红)	电平指示
7	LED ₂	发光二极管	3124D(绿)	电平指示
8	LED ₃	发光二极管	3125D(黄)	电平指示
9	VT ₁	三极管	C8050	电压跟随
10	IC ₁	集成门电路	74LS00	将信号反相并驱动发光二极管

1.2 知识链接

1.2.1 数字电路的基本概念

电子电路所处理的电信号可以分为两大类：一类是在时间和数值上都是连续变化的信号，称为模拟信号，例如电流信号、电压信号等，如图 1-2(a) 所示；另一类是在时间和数值上都是离散的信号，称为数字信号，例如计算机中传送的数据信号、IC 卡信号等，如图 1-2(b) 所示。传递和处理数字信号的电路，称为数字电路。随着现代电子技术的发展，数字电路已广泛用于通信、计算机、自动控制以及家用电器等领域。

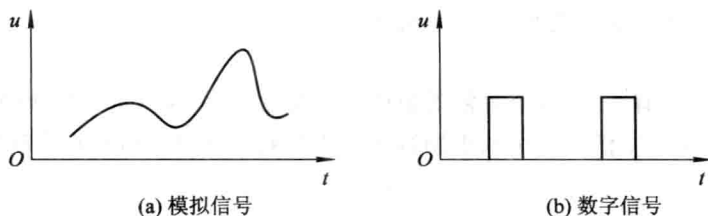


图 1-2 模拟信号与数字信号

与模拟电路相比，数字电路具有以下显著的优点：

- (1) 工作信号是二进制的数字信号，反映在电路上是高低电平两种状态。
- (2) 研究的主要问题是电路的逻辑功能。
- (3) 电路结构简单，便于集成、系列化生产，成本低廉，使用方便。
- (4) 抗干扰性强，可靠性高，精度高。
- (5) 对电路中元器件精度要求不高，只要能区分 0 和 1 两种状态即可。
- (6) 数字信号更易于存储、加密、压缩、传输和再现。

在数字电路中，通常将高电位称为高电平，低电位称为低电平。在实际数字电路中，高电平通常在 +3.5 V 左右，低电平通常在 0.3 V 左右。由于数字电路采用二进制数来进行信息的传输和处理，为了分析方便，在数字电路中分别用二进制数 1 和 0 表示高电平和低电平。一般将高电平对应 1 态、低电平对应 0 态的逻辑关系称为正逻辑关系；高电平对应 0 态、低电平对应 1 态的逻辑关系称为负逻辑关系。本书所采用的都是正逻辑关系。

数字电路不能采用模拟电路的分析方法，而是以逻辑代数作为主要工具，利用真值表、逻辑函数表达式、波形图和卡诺图等来表示电路的逻辑关系。

1.2.2 数制和码制

一、数制

数字电路中经常遇到计数问题。在日常生活中，人们习惯于采用十进制数，而在数字电路中一般采用二进制数，有时也采用八进制数或十六进制数。对于任何一个数，可以用不同的数制来表示。

1. 十进制数

十进制全称为十进位计数制，每一位有 0~9 十个可能的数码，计数规则为“逢十进

一”。该数制的计数基数(每一位规定使用的数码符号的个数)为10,数位的权值(某个数位上数码为 i 时所表征的数值)为 10^i , i 是各位的序号。任何一个十进制数都可以按权值展开,例如十进制数136.78可以写成

$$(136.78)_{10} = 1 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

十进制常用D来表示,如十进制数305可表示为 $(305)_D$ 。

2. 二进制数

二进制数每一位有0和1两个可能的数码,计数规则为“逢二进一”。该数制的计数基数为2,数位的权值为 2^i 。任何一个二进制数都可以按权值展开,例如二进制数110.11可以写成

$$(110.11)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

二进制常用B来表示,如二进制数1011可表示为 $(1011)_B$ 。

3. 八进制数

八进制数每一位有0~7八个可能的数码,计数规则为“逢八进一”。该数制的计数基数为8,数位的权值为 8^i 。任何一个八进制数都可以按权值展开,例如八进制数16可以写成

$$(16)_8 = 1 \times 8^1 + 6 \times 8^0$$

八进制常用O来表示,如八进制数567可表示为 $(567)_O$ 。

4. 十六进制数

十六进制数每一位有十六个可能的数码,分别用0~9、A(10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15)表示,计数规则为“逢十六进一”。该数制的计数基数为16,数位的权值为 16^i 。任何一个十六进制数都可以按权值展开,例如十六进制数4C.8E可以写成

$$(4C.8E)_{16} = 4 \times 16^1 + 12 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} + 14 \times 16^{-2}$$

十六进制数常用H来表示,如十六进制数A13可表示为 $(A13)_H$ 。

二、不同数制之间的相互转换

1. 非十进制数转换成十进制数

将非十进制数转换成十进制数一般采用按权值展开相加的方法,具体步骤是:首先把非十进制数写成按权值展开的多项式,然后按十进制数的计数规则求其和,就可得到对应的十进制数。

例如,将 $(10101.11)_2$ 转换成十进制数:

$$\begin{aligned} (10101.11)_2 &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 16 + 0 + 4 + 0 + 1 + 0.5 + 0.25 \\ &= (21.75)_{10} \end{aligned}$$

再如,将 $(265.34)_8$ 转换成十进制数:

$$\begin{aligned} (265.34)_8 &= 2 \times 8^2 + 6 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 3 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2} \\ &= 128 + 48 + 5 + 0.375 + 0.0625 \\ &= (181.4375)_{10} \end{aligned}$$

2. 十进制数转换成非十进制数

将十进制数转换为非十进制数时,整数部分和小数部分要分别进行转换,再把两者的转换结果用小数点相连。

(1) 整数部分常用的方法是除基数取余倒排法。把十进制整数 N 转换成 R 进制数的具体步骤如下:

- ① 将 N 除以 R , 记下所得的商和余数;
- ② 将上一步所得的商再除以 R , 记下所得的商和余数;
- ③ 重复做第②步, 直到商为 0;
- ④ 将各步求得的余数按照与运算过程相反的顺序把各个余数排列起来, 即为所求的 R 进制数。

例如, 将 $(47)_{10}$ 转换成二进制数:

$$\begin{array}{r|l}
 2 & 47 \\
 \hline
 2 & 23 \text{ ----- } 1 \text{ 最低位} \\
 2 & 11 \text{ ----- } 1 \\
 2 & 5 \text{ ----- } 1 \\
 2 & 2 \text{ ----- } 1 \\
 2 & 1 \text{ ----- } 0 \\
 & 0 \text{ ----- } 1 \text{ 最高位}
 \end{array}$$

即

$$(47)_{10} = (101111)_2$$

(2) 小数部分常用的方法是乘基数取整顺排法。把十进制的小数 M 转换成 R 进制数的具体步骤如下:

- ① 将 M 乘以 R , 记下整数部分;
- ② 将上一步乘积中的小数部分再乘以 R , 记下整数部分;
- ③ 重复做第②步, 直到小数部分为 0 或者满足精度要求为止;
- ④ 将各步求得的整数按照与运算过程相同的顺序排列起来, 即为所求的 R 进制数。

例如, 将 $(0.85)_{10}$ 转换成十六进制数:

$$\begin{array}{rcl}
 0.85 \times 16 = 13.6 & \cdots \cdots & 13(D) \text{ 最高位} \\
 0.6 \times 16 = 9.6 & \cdots \cdots & 9 \\
 0.6 \times 16 = 9.6 & \cdots \cdots & 9 \\
 \vdots & & \vdots \\
 & & \text{最低位}
 \end{array}$$

即

$$(0.85)_{10} = (0.D99\cdots)_{16}$$

例如, 将 $(25.375)_{10}$ 转换成二进制数:

整数部分转换如下:

$$\begin{array}{r|l}
 2 & 25 \\
 \hline
 2 & 12 \text{ ----- } 1 \\
 2 & 6 \text{ ----- } 0 \\
 2 & 3 \text{ ----- } 0 \\
 2 & 1 \text{ ----- } 1 \\
 & 0 \text{ ----- } 1
 \end{array}$$

小数部分转换如下:

$$\begin{array}{rcl}
 0.375 & & \text{整数} \\
 \times 2 & & \downarrow \\
 \hline
 0.750 & \cdots \cdots & 0 \\
 0.750 & & \\
 \times 2 & & \\
 \hline
 1.500 & \cdots \cdots & 1 \\
 0.500 & & \\
 \times 2 & & \\
 \hline
 1.000 & \cdots \cdots & 1 \\
 0.000 & &
 \end{array}$$

即

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

可以看出,将十进制小数转换成非十进制小数后两数不会有可能绝对相等,可能只是近似。

3. 二进制数转换成十六进制数

二进制数转换成十六进制数时,其整数部分和小数部分可以同时进行转换,具体方法是:以二进制数的小数点为起点,分别向左、右,每四位分为一组。对于小数部分,最低位一组不足四位时,必须在有效位右边补0,使其足位;对于整数部分,最高位一组不足四位时,可在有效位的左边补0,也可以不补。然后,把每一组二进制数转换成十六进制数,并保持原序列,即可得到所需的转换结果。

例如,将 $(100111101.10011)_2$ 转换成十六进制数:

$$\frac{1}{1} \quad \frac{0011}{3} \quad \frac{1101}{D} \quad \cdot \quad \frac{1001}{9} \quad \frac{1000}{8}$$

即

$$(100111101.10011)_2 = (13D.98)_{16}$$

4. 十六进制数转换成二进制数

十六进制数转换成二进制数时,只要把十六进制数的每一位数码分别转换成四位二进制数,并保持原序列即可。整数最高位一组左边的0和小数最低位一组右边的0可以省略。

例如,将 $(35A.26)_{16}$ 转换成二进制数:

$$\frac{3}{0011} \quad \frac{5}{0101} \quad \frac{A}{1010} \quad \cdot \quad \frac{2}{0010} \quad \frac{6}{0110}$$

即

$$(35A.26)_{16} = (1101011010.0010011)_2$$

二进制数与八进制数之间的转换,读者可参考二进制数与十六进制数之间的转换规则自行分析。

三、码制

数字电路中处理的信息除了数制信息外,还有文字、符号以及一些特定的操作(例如表示确认的回车操作)等,一般要处理这些信息,必须将其用二进制数码来表示。为了便于记忆和查找,这些用来表示特定含义的二进制数码在编码时必须遵循一定的规则,这个规则就是码制。这些特定二进制数码称为这些信息的代码,这些代码的编制过程称为编码。

例如,用四位二进制数表示一位十进制数的0~9十个数码时,就有多种不同的码制。通常将这些代码称为二-十进制码,简称BCD(Binary Coded Decimal)码。BCD码有多种形式,常用的有8421码、2421码、5421码、余3码等,它们的编码规则各不相同,表1-2给出了几种常用的BCD码。

8421BCD码是最常见的一种BCD码,其特点是每一位二进制数1都代表十进制数中一个固定数码,把每一位的1代表的十进制数加起来,得到的结果就是它代表的十进制数。由于代码中从左到右每一位的1分别表示8、4、2、1,所以把这种BCD码也叫做8421码,每一位的1代表的十进制数称为该位的权。8421BCD码中每一位的权是固定不变的,因此它属于恒权代码。

表 1-2 几种常用的 BCD 码

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

2421 码和 5421 码也是恒权代码，与 8421 码类似。

余 3 码不是恒权代码，其特点是二进制数码转换成十进制数后，比对应的十进制数大 3，故称为余 3 码。

除了上面介绍的二-十进制码外，常见的 BCD 码还有格雷码、奇偶校验码、字符码等。

1.2.3 逻辑代数的基本运算

一、逻辑代数的基本概念

逻辑是指事物之间的因果关系，或者说是条件与结果的关系，这些因果关系可以用逻辑运算来表示，也就是用逻辑代数来描述。

逻辑代数是按一定的逻辑关系进行运算的代数，是分析和设计数字电路的工具。在逻辑代数中有与、或、非三种基本逻辑运算，还有与或、与非、或非等复合逻辑运算。

事物往往存在两种对立的状态，在逻辑代数中可以抽象地表示为 0 和 1，称为逻辑 0 和逻辑 1。逻辑代数中的变量称为逻辑变量，用大写字母表示。逻辑变量的取值只有 0 和 1 两种，0 和 1 称为逻辑常量，并不表示数值的大小，而表示两种对立的逻辑关系。

二、基本逻辑运算

基本逻辑运算有与、或、非三种。任何复杂的逻辑关系都可以通过与、或、非组合而成。为了便于理解，我们用开关控制电路(见图 1-3)为例来说明这三种运算。将开关闭合或断开(即状态真或假)作为条件，将灯亮或灯灭作为结果。

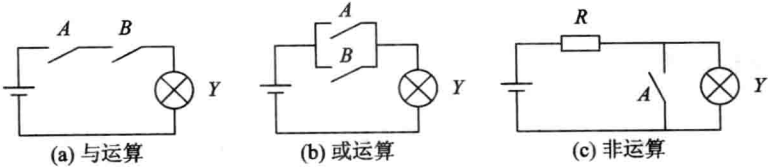


图 1-3 用于说明与、或、非定义的电路

在图 1-3(a)所示电路中,只有当两个开关同时闭合时,指示灯才会亮,即决定事物结果的全部条件同时为真,结果才会发生。这种因果关系叫做逻辑与,也叫做逻辑相乘,其逻辑运算符号为“ $\cdot$ ”,逻辑函数表达式为

$$Y = A \cdot B$$

在图 1-3(b)所示电路中,只要任何一个开关闭合,指示灯就会亮,即决定事物结果的诸条件中只要有任何一个为真,结果就会发生。这种因果关系叫做逻辑或,也叫做逻辑相加,其逻辑运算符号为“ $+$ ”,逻辑函数表达式为

$$Y = A + B$$

在图 1-3(c)所示电路中,当开关断开时灯亮,开关闭合时灯灭,即只要条件为真,结果就不会发生;而当条件为假时,结果则发生。这种因果关系叫做逻辑非,也叫做逻辑求反,其逻辑运算符号为“ $-$ ”,逻辑函数表达式为

$$Y = \bar{A}$$

若以 A 、 B 表示开关的状态,1 表示开关闭合,0 表示开关断开; Y 表示指示灯的状态,1 表示灯亮,0 表示灯灭。可以列出图 1-3 各电路对应的逻辑关系图表,如表 1-3、表 1-4、表 1-5 所示,这种图表又称为真值表。

表 1-3 与逻辑真值表

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

表 1-4 或逻辑真值表

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

表 1-5 非逻辑真值表

A	Y
0	1
1	0

我们把实现逻辑运算的单元电路称为逻辑门电路。把实现与逻辑运算的单元电路称为与门电路(简称与门),把实现或逻辑运算的单元电路称为或门电路(简称或门),把实现非逻辑运算的单元电路称为非门电路(简称非门)。

与、或、非逻辑运算还可以用图 1-4 所示的图形符号表示。这些图形符号也表示相应的逻辑门电路。

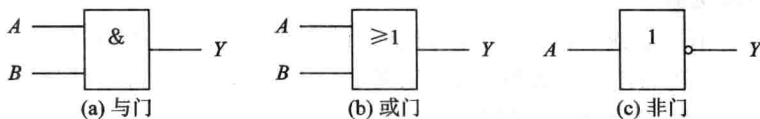
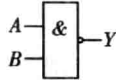
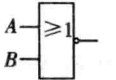
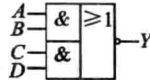
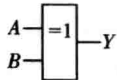
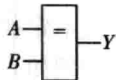


图 1-4 与、或、非逻辑运算的图形符号

三、复合逻辑运算

除了与、或、非三种基本逻辑运算外,还有五种复合逻辑运算,这五种复合逻辑运算是由三种基本逻辑运算中的两种或三种组合而成的,它们的逻辑表达式、逻辑符号、真值表及逻辑运算规律如表 1-6 所示。

表 1-6 五种复合逻辑关系

逻辑名称	与 非		或 非		与或非		异 或		同 或	
逻辑表达式	$Y=\overline{A \cdot B}$		$Y=\overline{A+B}$		$Y=\overline{A \cdot B+C \cdot D}$		$Y=A \oplus B$		$Y=A \odot B$	
逻辑符号										
真值表	AB	Y	AB	Y	$ABCD$	Y	AB	Y	AB	Y
	0 0	1	0 0	1	0 0 0 0	1	0 0	0	0 0	1
	0 1	1	0 1	0	0 0 0 1	1	0 1	1	0 1	0
	1 0	1	1 0	0	$\vdots$	$\vdots$	1 0	1	1 0	0
	1 1	0	1 1	0	1 1 1 1	0	1 1	0	1 1	1
逻辑运算 规律	有 0 得 1 全 1 得 0		有 1 得 0 全 0 得 1		与项为 1 结果为 0 其余输出全为 1		不同为 1 相同为 0		不同为 0 相同为 1	

1.2.4 逻辑代数的基本定律及基本规则

一、逻辑代数的基本定律

逻辑代数的基本定律反映了逻辑运算的一些基本规律，只有掌握了这些基本定律，才能正确地分析和设计逻辑电路。表 1-7 列出了逻辑代数的基本定律。

表 1-7 逻辑代数的基本定律

定律名称	逻辑 与	逻辑 或
0-1 律	$A \cdot 0 = 0$	$A + 1 = 1$
自等律	$A \cdot 1 = A$	$A + 0 = A$
重叠律	$A \cdot A = A$	$A + A = A$
互补律	$A \cdot \overline{A} = 0$	$A + \overline{A} = 1$
交换律	$A \cdot B = B \cdot A$	$A + B = B + A$
结合律	$A(BC) = (AB)C$	$A + (B + C) = (A + B) + C$
分配律	$A(B + C) = AB + AC$	$A + BC = (A + B)(A + C)$
反演律	$\overline{AB} = \overline{A} + \overline{B}$	$\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$
还原律	$\overline{\overline{A}} = A$	
吸收律		$AB + A\overline{B} = A$ $A + \overline{A}B = A + B$ $A + AB = A$
隐含律		$AB + \overline{A}C + BC = AB + \overline{A}C$ $AB + \overline{A}C + BCD = AB + \overline{A}C$

上述基本定律可以用真值表加以证明，这里从略。

二、逻辑代数的基本规则

1. 代入规则

在任何一个逻辑等式中, 如果将等式两边的某一变量都用一个函数代替, 则等式仍然成立。代入规则之所以成立, 是因为任何一个逻辑函数也和逻辑变量一样, 只有 0 和 1 两种取值, 可以将逻辑函数作为逻辑变量对待, 则上述规则必然成立。利用代入规则可以扩大基本定律的应用范围。

例如, $A(B+C)=AB+AC$, 若用 $G=D+E$ 代替等式中的 C , 则

$$A(B+G)=A[B+(D+E)]=AB+A(D+E)=AB+AD+AE$$

2. 反演规则

若将逻辑函数 Y 中所有的“ $\cdot$ ”换成“ $+$ ”, “ $+$ ”换成“ $\cdot$ ”, 0 换成 1, 1 换成 0, 原变量换成反变量, 反变量换成原变量, 则得到的结果就是 $\bar{Y}$ 。反演规则为求取已知逻辑式的反逻辑式提供了方便。

在使用反演规则时还需注意遵守以下两个规定: 一是仍需遵守“先括号, 然后与, 最后或”的运算优先次序; 二是不属于单个变量上的非号应保留不变。

例如, 若 $Y=A\bar{B}+\bar{C}D$, 则

$$\bar{Y}=(\bar{A}+B) \cdot (C+\bar{D})$$

反演规则实际上是反演律的推广, 或者说反演律是反演规则的一个特例。

3. 对偶规则

若将逻辑函数 Y 中所有的“ $\cdot$ ”换成“ $+$ ”, “ $+$ ”换成“ $\cdot$ ”, 0 换成 1, 1 换成 0, 并保持原先的逻辑优先级, 变量不变, 两个变量以上的“非”号不动, 则可得原函数 Y 的对偶式 Y' , 且 Y 和 Y' 互为对偶式。

例如, 若 $Y=A\bar{B}+\bar{C}D$, 则对偶式为

$$Y'=(A+\bar{B}) \cdot (\bar{C}+D)$$

如果两个逻辑函数表达式相等, 则它们的对偶式必然相等。应用这一规则在证明逻辑函数等式成立时, 可以通过证明对偶式相等来验证。我们可以从表 1-7 看出一些基本公式是成对出现的, 二者互为对偶式。

1.2.5 逻辑函数的表示方法及其相互转换

一、逻辑函数的表示方法

逻辑函数中用字母 $A, B, C, \dots$ 表示输入变量, 用 Y 表示输出变量, 一般地说, 如果输入变量 $A, B, C, \dots$ 取值确定之后, 输出变量 Y 的值也被唯一确定, 那么就称 Y 是 $A, B, C, \dots$ 的函数, 并写成

$$Y=F(A, B, C, \dots)$$

逻辑函数有多种表示方法: 真值表、逻辑函数表达式、逻辑图、卡诺图等。下面以图 1-5 所示的举重裁判电路为例, 分别介绍逻辑函数的前三种表示方法, 用卡诺图表示逻辑函数的方法将在 1.2.6 节中介绍。

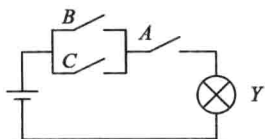


图 1-5 举重裁判电路