21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN DIANZI JISHU GUIHUA JIAOCAI
21世纪高职高专电子技术规划教材

数字电子技术学习指导

邱寄帆　唐程山　主编

国家精品课程立体化教材

- ★数字电子技术
- ★数字电子技术实验与综合实训
- ★数字电子技术学习指导
- ★数字电子技术CAI
- ★数字电子技术电子课件
- ★数字电子技术网络课程

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高职高专电子技术规划教材

数字电子技术学习指导

邱寄帆　唐程山　主编

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术学习指导/邱寄帆,唐程山主编.—北京:人民邮电出版社,2005.9

21世纪高职高专电子技术规划教材

ISBN 7-115-13493-6

Ⅰ.数... Ⅱ.①邱...②唐... Ⅲ.数字电路—电子技术—高等学校:技术学校—教学参考资料 Ⅳ.TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第084040号

内容提要

本书共分9章,主要包括数字电路基础知识、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、数模和模数转换、存储器和可编程逻辑器件简介等内容。每章均包含《数字电子技术》各章的基本要求、重点难点、学习要点及典型例题,并对各章的基本内容进行了概括,形成学习要点;典型例题则选择了一些具有代表性的例题进行讲解,以达到帮助读者理解概念、寻找规律、掌握方法、举一反三的目的,并在此过程中着重培养读者电路的分析能力及对所学知识的综合应用能力。

本书可作为高职高专电子、电气、计算机、自动控制、机电一体化等专业的教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考使用。

21世纪高职高专电子技术规划教材

数字电子技术学习指导

◆ 主　　编　邱寄帆　唐程山

责任编辑　赵慧君

◆ 人民邮电出版社出版发行　北京市崇文区夕照寺街14号

邮编　100061　电子函件　315@ptpress.com.cn

网址　http://www.ptpress.com.cn

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092　1/16

印张:7

字数:156千字　　2005年9月第1版

印数:1-3 000册　　2005年9月北京第1次印刷

ISBN 7-115-13493-6/TN·2517

定价:12.00元

读者服务热线:(010)67170985　印装质量热线:(010)67129223

从书出版前言

遵照教育部提出的以就业为导向，高职高专教育从专业本位向职业岗位和就业为本转变的指导思想，人民邮电出版社协同一些高职高专院校和相关企业共同开发了21世纪高职高专电子技术规划教材。

随着职业教育在我国的不断深化，各高职高专院校越来越关注人才培养的模式与专业课程设置，越来越关心学生将来的就业岗位，并开始注重培养学生的职业能力。但是我们看到，高职高专院校所培养的人才与市场上需要的技术应用型人才仍存在差距。那么如何在保证知识体系完整性的同时，能在教材中体现正在应用的技术、正在发展的技术和前沿的技术成了本套教材探讨的重点，为此我们在如下几个方面做了努力和尝试。

1. 针对电子类专业基础课程较经典，及知识点又相对统一、固定的特点，采取本科老师与高职高专老师合作编写的方式，借助本科老师在理论方面深厚的功底，在写作质量上进行把关，高职高专老师则发挥其熟悉职业教育教学需求的优势把握教材的广度与深度，力图解决专业基础课程理论与应用相结合的目的。

2. 高职高专教育培养的人才是面向生产、管理第一线的技术型人才，基础课程的教学应以必需、够用为原则，以掌握概念、强化应用为教学重点，注重岗位能力的培养。本套教材在保证基本知识点讲解的同时，掌握“突出基本概念，注重技能训练，强调理论联系实际，加强实践性教学环节”的原则，在内容安排上避免复杂的数学推导和计算。

3. 专业课程引入工程实例，强化培养职业能力。让学生了解在实际工作中利用单片机和PLC做项目的流程，并通过一系列小的实例逐步让学生产生学习兴趣，并了解开发过程，最后通过一个大的完整案例对学生进行综合培训，从而达到对职业能力的培养。

以上这些仅是高职高专教材出版的初步。如何配合学校做好为国家培养人才的工作，出版高质量的教材将是我们不断追求和奋斗的目标。

我们衷心希望，关注高等职业教育的广大读者能对本套教材的不当之处给予批评指正，提出修改意见，同时也热切盼望从事高等职业教育的老师、企业专家和我们联系，共同探讨相关专业的教学方案和教材编写等问题。来信请发至 zhaohuijun@ptpress. com. cn。

21世纪高职高专电子技术规划教材编委会

2005年8月

编者的话

精品课程是具有一流教师队伍、一流教学内容、一流教学方法、一流教材、一流教学管理等特点的示范性课程。实施“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部为不断提高教学质量而推出的一项重大举措，同时也是教育部《2003～2007 年教育振兴行动计划》的重要组成部分。精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一，教育部计划用 5 年时间(2003～2007 年)建设 1500 门国家级精品课程，利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容在网上免费开放，以实现优质教学资源共享，提高人才培养质量。

由成都航空职业技术学院邱寄帆副教授任课程负责人的“数字电子技术” 是电子信息类专业的公共基础课程。该课程经过多年的教学研究、教学改革和实践，不仅锻炼培养了一批优秀的教师，取得了丰硕的教学研究成果，而且改革后的课程特色鲜明，教育理念创新，教学手段先进。“数字电子技术”课程充分体现了现代教育思想，符合科学性、先进性、创新性和高职高专教学的普遍规律。“数字电子技术”课程注重对学生知识运用能力的考查，教学效果显著，具有示范性和辐射推广作用，在国内同类课程中处于领先地位，被评为 2003 年国家精品课程。

一流教材的建设是精品课程建设的重要内容。“数字电子技术”立体化教材是一体化设计、多种媒体有机结合的系列出版物，包括数字电子技术、数字电子技术实验与综合实训、数字电子技术学习指导、数字电子技术 CAI(“数字电子技术 CAI”是一套起点高，思路先进的可充分激发学生的想象力和创造力的采用虚拟现实技术的计算机模拟仿真教学软件。软件自带元件库和电路图形编辑器，用户可随心所欲地构造任意电路，仿真演示该电路的工作原理和动态工作过程，以及每个元件的变化细节情况，并得到电路运行的相关结果)、数字电子技术电子课件、数字电子技术网络课程及试题库、资料库等，并通过教学平台，为教师教学、学生自主学习提供完整的教学方案，最大限度地满足教学需要。

数字电子技术立体化教材由成都航空职业技术学院邱寄帆副教授、唐程山副教授担任主编，本书由邱寄帆编写。

由于编者水平有限，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2005 年 8 月

目　　录

第1章 数字电路基础知识

1.1 基本要求

① 了解数字电路的特点及应用。
② 理解数字信号与模拟信号、数字电路与模拟电路。
③ 掌握逻辑函数的常用表示方法和相互转换方法。
④ 掌握常用数制的表示方法及相互转换方法。
⑤ 掌握常用编码的表示方法。
⑥ 掌握逻辑函数的公式化简法和卡诺图化简法。

1.2 重点难点

1. 重点
① 逻辑函数的表示方法。
② 逻辑函数的基本公式、常用公式和运算规则。
③ 逻辑函数的公式化简法。
④ 逻辑函数的卡诺图化简法。
2. 难点
① 不同数制的相互转换方法。
② 逻辑函数的公式化简法。

1.3 学习要点

1.3.1 数字电路概述

模拟信号：在时间和幅值上都为连续的信号称为模拟信号。
模拟电路：处理和传输模拟信号的电路称为模拟电路。
数字信号：在时间和幅值上都为离散的信号称为数字信号。
数字电路：处理和传输数字信号的电路则称为数字电路。

数字电路的特点如下。

① 在数字电路中，通常采用二进制。

② 抗干扰能力强、精度高。

③ 通用性强。

④ 具有“逻辑思维”能力。

1.3.2 数制

由数字符号构成且表示物理量大小的数字和数字的组合称为数码。多位数码中每一位的构成方法，以及从低位到高位的进制规则称为计数制，简称数制。常用的计数制有十进计数制、二进计数制、八进计数制、十六进计数制等，分别简称十进制、二进制、八进制、十六进制等。

1. 十进制

十进制是人们最熟悉的一种计数制，它用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数码，按逢十进一的原则计数，10 是它的基数。十进制计数制是一种“位置计数法”，例如

$$(1999)_{10}=(1\times10^3+9\times10^2+9\times10^1+9\times10^0)_{10}$$

公式中的注脚 10 表示十进制，或者说以 10 为基数，各位数的权为 10 的幂。式中 1、9、9、9 称为系数。

2. 二进制

二进制中只有 0、1 两个数码，按照逢二进一的原则计数。二进制也采用“位置计数法”，它的基数是 2，各位数的权为 2 的幂。它的一般形式为

$$(N)_2=(b_{n-1}b_{n-2}\cdots b_1b_0)_2=(b_{n-1}\times2^{n-1}+b_{n-2}\times2^{n-2}+\cdots\cdots+b_1\times2^1+b_0\times2^0)_{10}$$

3. 八进制

在八进制数中，各位系数采用 0～7 共八个数码，按照逢八进一的原则计数，其基数是 8，各位的权是 8 的幂。例如

$$\begin{aligned}(128)_8&=(1\times8^2+2\times8^1+8\times8^0)_{10}\\&=(64+16+8)_{10}\\&=(88)_{10}\end{aligned}$$

4. 十六进制

在十六进制数中，各位的系数采用 0～9、A、B、C、D、E、F 等十六个数码，按逢十六进一的原则计数，基数是 16，各位的权是 16 的幂。例如

$$\begin{aligned}(5D)_{16}&=(5\times16^1+13\times16^0)_{10}\\&=(80+13)_{10}\\&=(93)_{10}\end{aligned}$$

1.3.3 数制转换

1. 十进制转换成二进制

一个十进制整数用 2 连除，一直到商为 0，每除一次记下余数 0 或 1，把余数从后向前排列，即为所求的二进制数。

2. 二进制与八进制、十六进制之间的转换

（1）二进制与八进制之间的转换

将一个八进制数转换成二进制数很方便，只需用 3 位二进制数去代替每个相应的八进制数码即可。

反之，将二进制数转换成八进制数时，只需将二进制数从低位向高位分成若干组 3 位二进制数，然后用对应的八进制数码代替每组的 3 位二进制数即可。

（2）二进制与十六进制之间的转换

将一个十六进制数转换成二进制数也很简单，只需用 4 位二进制数去代替每个相应的十六进制数码即可。

反之，将二进制数转换成十六进制数，只需将二进制数从低位到高位分成若干组 4 位二进制数，然后用对应的十六进制数码代替每组的 4 位二进制数即可。

1.3.4　编码

在数字电路中，往往用 0 和 1 组成的二进制数码表示数值的大小或者一些特定的信息。这种具有特定意义的二进制数码称为二进制代码。这些代码的编制过程称为编码。编码的形式很多，这里只介绍常用的二-十进制编码（又称 BCD 码）和格雷码。

1. 常用的 BCD 码

二-十进制编码是用一个 4 位二进制代码表示一位十进制数字的编码方法。2 位二进制代码有多种状态组合，若从中选取任意 10 种状态来表示 0～9 十个数字，可以有许多种排列方式。因此，BCD 码有许多种，表 1-1 列出几种常用的 BCD 码。

表 1-1　　几种常用的 BCD 码

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

2. 格雷码

格雷码又称循环码。循环码有一个显著特点是，任意两个相邻的数所对应的代码之间只有 1 位不同，其余位都相同。比如 8 与 9 所对应的代码为 1100 和 1101，只有最低位不同；0 和 15 之间只有最高位不同。循环码的这个特点，使它在代码的形成与传输时引起的误差比较小。表 1-2 给出了 4 位循环码的编码表。

表 1-2　　4 位循环码的编码表

十进制数	循环码	十进制数	循环码
0	0000	8	1100
1	0001	9	1101
2	0011	10	1111
3	0010	11	1110
4	0110	12	1010
5	0111	13	1011
6	0101	14	1001
7	0100	15	1000

1.3.5 逻辑代数的基本运算、公式和运算法则

1. 逻辑代数的基本运算

(1) 3 种基本逻辑运算

与运算　　逻辑表达式为：$Y=AB$

或运算　　逻辑表达式为：$Y=A+B$

非运算　　逻辑表达式为：$Y=\overline{A}$

(2) 复合逻辑运算

与非运算　　逻辑表达式为：$Y=\overline{AB}$

或非运算　　逻辑表达式为：$Y=\overline{A+B}$

与或非运算　　逻辑表达式为：$Y=\overline{AB+CD}$

异或运算　　逻辑表达式为：$Y=A\overline{B}+\overline{A}B=A\oplus B$

同或运算　　逻辑表达式为：$Y=\overline{A}\,\overline{B}+AB=A\odot B$

2. 逻辑代数的公式和运算法则

(1) 基本公式

根据与、或、非 3 种基本运算的特点，可以推导出如表 1-3 所示的逻辑代数的基本公式。

表 1-3　　逻辑代数的基本公式

0-1 律	(1)$A\cdot 1=A$ (3)$A\cdot 0=0$	(2)$A+0=A$ (4)$A+1=1$
交换律	(5)$A\cdot B=B\cdot A$	(6)$A+B=B+A$
结合律	(7)$A\cdot(B\cdot C)=(A\cdot B)\cdot C$	(8)$A+(B+C)=(A+B)+C$
分配律	(9)$A\cdot(B+C)=A\cdot B+A\cdot C$	(10)$A+(BC)=(A+B)(A+C)$
互补律	(11)$A\cdot\overline{A}=0$	(12)$A+\overline{A}=1$
重叠律	(13)$A\cdot A=A$	(14)$A+A=A$
反演律	(15)$\overline{AB}=\overline{A}+\overline{B}$	(16)$\overline{A+B}=\overline{A}\cdot\overline{B}$
还原律	(17)$\overline{\overline{A}}=A$	

(2) 常用公式

公式 1　$AB+A\overline{B}=A$

公式 2　$A+AB=A$

公式 3　$A+\overline{A}B=A+B$

公式 4　$AB+\overline{A}C+BC=AB+\overline{A}C$

推论　$AB+\overline{A}C+BCDE=AB+\overline{A}C$

(3) 运算规则

● 代入规则

在任何一个逻辑等式中，如果将等式两端的某个变量都以一个逻辑函数代入，则等式仍然成立。这个规则就叫代入规则。

● 反演规则

对于任何一个逻辑表达式 Y，若将 Y 中所有的“.”换成“+”，“+”换成“.”；所有的“0”换成“1”，“1”换成“0”；所有的原变量换成反变量，反变量换成原变量，那么所得到的表达式就是 Y 的反函数 $\overline{Y}$。这个规则叫做反演规则。

● 对偶规则

对于任何一个逻辑表达式 Y，如果将是 Y 中所有的“+”换成“.”，“.”换成“+”；所有的“0”换成“1”，“1”换成“0”，那么就可以得到一个新的表达式 Y'，Y' 称为 Y 的对偶式。这就是对偶规则。

1.3.6　逻辑函数的公式化简法

公式化简法是反复利用逻辑代数中的基本公式和常用公式，经过运算进行化简逻辑函数的方法，这种方法又称代数化简法。通常采用的方法有并项法、吸收法、消去法和配项法。

① 并项法：利用公式 $A+\overline{A}=1$ 进行化简，通过合并公因子，消去变量。

② 吸收法：利用公式 $A+AB=A$ 进行化简，消去多余项。

③ 消去法：利用公式 $A+\overline{A}B=A+B$ 进行化简，消去多余的因子。

④ 配项法：在适当的项配上 $A+\overline{A}=1$ 进行化简。

1.3.7　逻辑函数的卡诺图化简法

1. 最小项及最小项表达式

(1) 最小项

设 A、B、C 是 3 个逻辑变量，由这 3 个逻辑变量按以下规则构成乘积项。

① 每个乘积项都只含 3 个因子，且每个变量都是它的一个因子。

② 每个变量都以原变量（A、B、C）或以反变量（$\overline{A}$、$\overline{B}$、$\overline{C}$）的形式出现一次，且仅出现一次。

具备以上条件的乘积项是 $\overline{A}\overline{B}\overline{C}$、$\overline{A}\overline{B}C$、$\overline{A}B\overline{C}$、$\overline{A}BC$、$A\overline{B}\overline{C}$、$A\overline{B}C$、$AB\overline{C}$、$ABC$ 共 8 个，我们称这 8 个乘积项为 3 个变量 A、B、C 的最小项。

(2) 最小项的性质

最小项具备下列性质。

① 对于任意一个最小项，只有一组变量取值使它的值为 1，而变量取其余各组值时，该最小项均为 0。

② 任意两个不同的最小项之积恒为 0。

③ 变量全部最小项之和恒为 1。

为了叙述和书写方便，通常对最小项加以编号。编号方法是，把最小项取值为1所对应的那一组变量取值组合当成二进制数，与其相应的十进制数，就是该最小项的编号。3个变量A、B、C的全体最小项编号表示如表1-4所示。从表中可以看出，最小项用“m_i”表示，下标“i”即最小项的编号。

表1-4　　3个变量A、B、C最小项的编号表示

A	B	C	对应十进制数	最小项名称	编　号
0	0	0	0	$\overline{A}\overline{B}\overline{C}$	m_0
0	0	1	1	$\overline{A}\overline{B}C$	m_1
0	1	0	2	$\overline{A}B\overline{C}$	m_2
0	1	1	3	$\overline{A}BC$	m_3
1	0	0	4	$A\overline{B}\overline{C}$	m_4
1	0	1	5	$A\overline{B}C$	m_5
1	1	0	6	$AB\overline{C}$	m_6
1	1	1	7	ABC	m_7

（3）最小项表达式

任何一个逻辑函数都可以表示为最小项之和的形式——标准与或表达式。而且这种形式是惟一的，就是说一个逻辑函数只有一种最小项表达式。

2. 卡诺图及其画法

（1）卡诺图及其构成原则

卡诺图可以看做是把最小项按照一定规则排列而构成的方框图。最小项是组成卡诺图的基本单元，卡诺图中每个小方块对应一个最小项。因为N个变量共有2^N个最小项，所以N变量的卡诺图也应该有2^N个小方块。卡诺图中各变量的取值要按一定的规则排列，其规则是，图中任何在几何位置上相邻的最小项，在逻辑上必须相邻，即几何相邻与逻辑相邻必须互相重合。

所谓几何相邻是指图中在排列位置上紧挨着的那些最小项；所谓逻辑相邻，是指如果两个最小项中除了一个变量取值不同外，其余的都相同，那么就称这两个最小项具有逻辑上的相邻性。例如$m_5(A\overline{B}C)$和$m_1(\overline{A}\overline{B}C)$是逻辑相邻的，因为只有变量$A$的取值不同外，其余都相同。除此之外，$m_5$和$m_4$、$m_7$也是逻辑相邻的。

可见，构成卡诺图的原则如下。

① N变量的卡诺图有2^N个小方块。

② 卡诺图中各变量取值要按一定规则排列。

（2）用卡诺图表示逻辑函数

从逻辑函数的真值表可以画出相应的卡诺图，其方法是，根据真值表填写每一个小方块的值即可。由于真值表和卡诺图变量取值组合是一一对应的，因此，只要在对应输入变量取值组合的每一个小方块中，函数值为1的填1，为0的填0，就可以得到逻辑函数的卡诺图。

（3）卡诺图化简法

由于卡诺图两个相邻最小项中，只有一个变量取值不同，而其余的取值都相同，所以利用公式$A+\overline{A}=1$，合并相邻最小项，可以消去一个或多个变量，从而使逻辑函数得到简化。

下面我们讨论利用卡诺图化简逻辑函数的方法——卡诺图化简法（又称图形化简法）。

利用卡诺图化简逻辑函数，一般可分 3 步进行。首先画出逻辑函数的卡诺图，然后对几何相邻的最小项进行圈组（即合并最小项），最后从圈组中写出最简的与或表达式。正确圈组的原则如下。

① 必须按 2、4、8、2^N 的规律来圈取值为 1 的相邻最小项，2^N 个最小项合并后消去 2^{N-1} 项，并消去 N 个变量。

② 每个取值为 1 的相邻最小项至少必须圈一次，但可以圈多次。

③ 圈的个数要最少，并要尽可能大。

1.4 典型例题

【例 1-1】 将下列二进制数转换为十进制数。

① 1101011101

② 10001101

③ 10100111

④ 1111011

解： ① $(1101011101)_2 = 1\times2^9+1\times2^8+1\times2^6+1\times2^4+1\times2^3+1\times2^2+1\times2^0$
$= 512+256+64+16+8+4+1=(861)_{10}$

② $(10001101)_2 = 1\times2^7+1\times2^3+1\times2^2+1\times2^0$
$= 128+8+4+1=(141)_{10}$

③ $(10100111)_2 = 1\times2^7+1\times2^5+1\times2^2+1\times2^1+1\times2^0$
$= 128+32+4+2+1=(167)_{10}$

④ $(1111011)_2 = 1\times2^6+1\times2^5+1\times2^4+1\times2^3+1\times2^1+1\times2^0$
$= 64+32+16+8+2+1=(123)_{10}$

【例 1-2】 将十进制数 138 转换为二进制数。

解：

	余数	
2⌊138		
2⌊69	0	(LSB)
2⌊34	1	
2⌊17	0	
2⌊8	1	
2⌊4	0	
2⌊2	0	
2⌊1	0	
0	1	(MSB)

故　$(138)_{10} = (10001010)_2$

【例 1-3】 将八进制数 357、64、5642 转换为二进制数。

解： ①

$$\begin{array}{ccc} 3 & 5 & 7 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ \underline{011} & \underline{101} & \underline{111} \end{array}$$

故 $(357)_8=(11101111)_2$

② 6 → 110, 4 → 100

故 $(64)_8=(110100)_2$

③ 5 → 101, 6 → 110, 4 → 100, 2 → 010

故 $(5642)_8=(101110100010)_2$

【例 1-4】 将二进制数 10110101、1110110 转换为八进制数。

解： ① $(10110101)_2=\underline{010}\ \underline{110}\ \underline{101}=(265)_8$

010 → 2, 110 → 6, 101 → 5

② $(1110110)_2=\underline{001}\ \underline{110}\ \underline{110}=(166)_8$

001 → 1, 110 → 6, 110 → 6

【例 1-5】 将十六进制数 8D3E、CF1B 转换为二进制数。

解： ① 8 → 1000, D → 1101, 3 → 0011, E → 1110

故 $(8D3E)_{16}=(1000110100111110)_2$

② C → 1100, F → 1111, 1 → 0001, B → 1011

故 $(CF1B)_{16}=(1100111100011011)_2$

【例 1-6】 将二进制数 1110111101101、10001011110110 转换为十六进制数。

解： ① $(1110111101101)_2=\underline{0001}\ \underline{1101}\ \underline{1110}\ \underline{1101}=(1DED)_{16}$

0001 → 1, 1101 → D, 1110 → E, 1101 → D

② $(10001011110110)_2=\underline{0010}\ \underline{0010}\ \underline{1111}\ \underline{0110}=(22F6)_{16}$

0010 → 2, 0010 → 2, 1111 → F, 0110 → 6

【例 1-7】 用真值表证明等式 $(A+B)(\overline{A}+\overline{B})=A\overline{B}+\overline{A}B$。

证明： 真值表如表 1-5 所示。

表 1-5 **例 1-7 真值表**

A	B	$A+B$	$\overline{A}+\overline{B}$	$A\overline{B}$	$\overline{A}B$	$(A+B)(\overline{A}+\overline{B})$	$A\overline{B}+\overline{A}B$
0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	1	1	1
1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0