电子信息类

·全国高职高专电子信息类系列规划教材·

数字电子技术应用基础

Shuzi Dianzi Jishu Yingyong Jichu

◎黄洁 主编

华中科技大学出版社
http://www.hustp.com

·全国高职高专电子信息类系列规划教材·

数字电子技术应用基础

Shuzi Dianzi Jishu Yingyong Jichu

主　编　黄　洁
副主编　夏晓玲　朱红梅
主　审　吕建新

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术应用基础/黄　洁　主编.—武汉:华中科技大学出版社，2008年9月
ISBN 978-7-5609-4858-4

Ⅰ.数…　Ⅱ.黄…　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(2008)第134210号

数字电子技术应用基础　黄　洁　主编

策划编辑:吴　晗
责任编辑:吴　晗　封面设计:刘　卉
责任校对:刘　竣　责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)
武昌喻家山　邮编:430074　电话:(027)87557437

录排:武汉星明图文制作有限公司
印刷:华中科技大学印刷厂

开本:787mm×1092mm　1/16　印张:10.75　字数:235 000
版次:2008年9月第1版　印次:2008年9月第1次印刷　定价:18.80元
ISBN 978-7-5609-4858-4/TN·125

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行科调换)

内容提要

本书紧密结合高职高专特点，突出应用性、针对性，淡化电路内部结构和工作原理的阐述，叙述上深入浅出、通俗易懂，注重培养学生的实际应用能力。

本书共分5个模块，内容包括：数字电路基本知识、中规模数字集成电路、555时基集成电路、数字电路的接口电路、半导体存储器和可编程逻辑器件等。每个模块中都有若干任务引领，以“课题”“任务”为支撑，将知识点融入其中，由浅入深，层层展开，完成任务导向的教学目标。

本书可作为高等职业院校、高等专科院校、成人高校、民办高校及本科院校的二级职业技术学院电气电子、信息自动化、机电一体化及相关专业的教学用书，也适用于五年制高职、中职相关专业，并可作为社会从业人士的业务参考书及培训用书。

前言

我国的职业教育是以学校为主的职业学校教育，在创立伊始，基本上沿用了高等教育和普通中学教育的课程模式，课程和教学的工作指向性较弱，忽视了社会经验和实践能力的形成，难以从根本上满足企业和社会市场对人才培养的需求。

当前，我国正在大力发展职业教育，课程改革与创新成为建设中国特色职业教育的主要任务，工作过程导向的职业教育课程开发代表着世界职业教育发展的方向。教学改革的关键是课程改革，重点是教学内容、教学模式的改革。而目前适应情景教学、行为(任务)导向模式教学等职业教育特色教学模式的教材的开发更为广大职业院校所急需。

本教材从高职教育的培养目标入手，忠实贯彻高职院校“以学生为本位，以就业为导向”的指导思想，构建结构模块化、技能系统化、内容弹性化的教材模式。

“数字电子技术”课程是一门理论与应用并重的专业基础课程，本教材的突出特点是理论教学与实际应用并重，教学的设计思路采用模块化任务导向式的教学方法，课程通过任务的引领，将知识点融入其中，提高课程和教学的工作指向性，达到理论与实际应用的结合，使学生能够学以致用，满足高职人才培养的要求。

本教材在内容叙述上深入浅出，将知识点与能力点有机结合，注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。本教材对器件的内部结构与电路原理没有做太多阐述，而是通过各种应用实例熟悉器件在数字电子系统中的具体应用。

本教材编者都是高职高专院校的教师，长期从事数字电子技术课程的教学工作，积累了丰富的教学经验，对高职高专学生的知识接受能力有着深刻的了解，在编写本教材时做到了内容取舍得当、难易适中，突出技术性和应用性的特点，体现了教育部关于高职高专课程改革意

见的精神。

本教材参考教学时间为 56～70 学时。模块 1:16～20 学时;模块 2:18～22 学时;模块 3:8～10学时;模块 4:8～10 学时;模块 5:6～8 学时。使用者可根据具体情况增减学时。

本教材由武汉职业技术学院黄洁担任主编,鄂州大学夏晓玲和长江职业技术学院朱红梅担任副主编。模块 1 由夏晓玲编写,模块 2 和模块 3 由黄洁编写,模块 4 和模块 5 由朱红梅编写,附录 1 由武汉职业技术学院黄建农编写,附录 2 由武汉职业技术学院袁建荣编写,附录 3 由黄洁、夏晓玲和朱红梅共同编写,并由黄洁负责全书的统稿。

本教材承蒙烽火通信科技股份有限公司高级工程师吕建新的认真审阅,提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于时间紧迫和囿于编者的水平,书中的错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编　者

2008 年 6 月

目录

模块1　数字电路基本知识

课题1　数字电路逻辑控制表示

任务　裁判器判决电路的设计

任务目标

- 理解并掌握逻辑代数的基本公式、基本定律和三个重要规则。
- 掌握逻辑函数化简的几种基本方法并能熟练运用。
- 了解数字电路的特点、应用、分类及学习方法。
- 掌握进制的表示方法及相互转换；了解8421BCD码、余三码、格雷码的意义及表示方法。
- 设计裁判器判决电路。

知识积累

数字电路的结构是以二值数字逻辑为基础的，其中的工作信号是离散的数字信号，用“0”和“1”来表示。在分析和设计数字电路时，所使用的数学工具是逻辑代数(又称“布尔代数”。布尔是英国数学家，他1941年提出变量“0”和“1”代表不同状态)。逻辑代数有其自身独立的规律和运算法则，不同于普通代数。这里主要介绍逻辑代数的基本运算、基本定律和基本运算规则，以及逻辑函数的表示方法和逻辑函数的化简。

1. 基本逻辑函数及运算

1) 与运算

图1.1.1所示为一个简单的与逻辑电路，只有当开关S_1与S_2同时接通时，灯泡才亮。若S_1和S_2中只要一个不接通或二者均不接通时，灯泡不亮。这种只有当一件事(灯亮)发生的所有条件(开关S_1与S_2都接通)都具备时，事件(灯亮)才发生的逻辑关系，称为与逻辑。

逻辑函数真值表是把输入所有可能的组合与输出的取值对应列出的表格。设开关“1”表示闭合、“0”表示断开，灯“1”表示亮、“0”表示灭，则可以列出与逻辑函数的真值表，如表 1.1.1 所示。

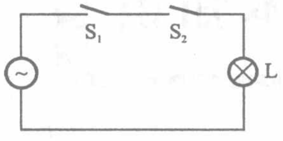


图 1.1.1　与逻辑电路

表 1.1.1　与运算真值表

输　入		输　出
S_1	S_2	L
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

若用逻辑表达式来描述，则可写为

$$L = S_1 S_2$$

与逻辑功能的口诀是：有“0”出“0”，全“1”出“1”。

与逻辑的逻辑符号如图 1.1.2 所示。

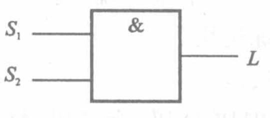


图 1.1.2　与逻辑的逻辑符号

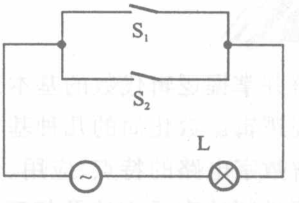


图 1.1.3　或逻辑电路

2) 或运算

图 1.1.3 所示为一个简单的或逻辑电路。只要开关 S_1 或 S_2 接通或二者均接通，则灯亮；而当 S_1 和 S_2 均不接通时，则灯不亮。其真值表如表 1.1.2 所示。这种当一事件（灯亮）的几个条件（开关 S_1、S_2 接通）中只要有一个条件具备，事件（灯亮）就会发生的逻辑关系，称为或逻辑，亦称逻辑加。

表 1.1.2　或运算真值表

输　入		输　出
S_1	S_2	L
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

其逻辑表达式为

$$L = S_1 + S_2$$

或逻辑功能的口诀是:有“1”出“1”,全“0”出“0”。

或逻辑的逻辑符号如图 1.1.4 所示。

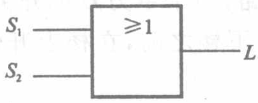


图 1.1.4　或逻辑符号

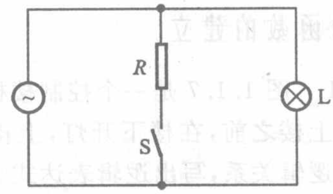


图 1.1.5　非逻辑电路

3) 非运算

图 1.1.5 所示为非逻辑电路,当 S_1 接通时,灯不亮,S_1 不接通时,灯亮。这种一事件(灯亮)的发生以其相反的条件为依据的逻辑关系,称为非逻辑,其真值表如表 1.1.3 所示,逻辑符号如图 1.1.6 所示。

表 1.1.3　非运算真值表

输入	输出
S	L
0	1
1	0

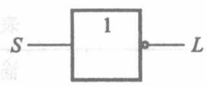


图 1.1.6　非逻辑符号

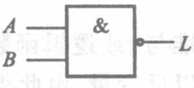
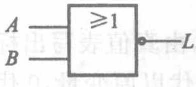
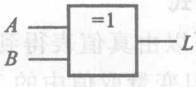
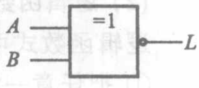
非逻辑的表达式为

$$L = \overline{S}$$

4) 复合逻辑函数

复合逻辑函数是由与、或、非三种基本逻辑函数组合而成的函数。表 1.1.4 列出了几种常用复合逻辑函数的符号和真值表。

表 1.1.4　几种常用复合逻辑运算的符号和真值表

逻辑运算		与非 $L=\overline{A\cdot B}$	或非 $L=\overline{A+B}$	异或 $L=A\overline{B}+\overline{A}B$	同或 $L=AB+\overline{A}\,\overline{B}$
逻辑符号					
逻辑变量 A	B				
0	0	1	1	0	1
0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	1

2. 逻辑函数及其表示法

1) 逻辑函数的建立

例 1.1.1 图 1.1.7 是一个控制楼梯照明灯的电路，两个单刀双掷开关分别安装在楼上和楼下。上楼之前，在楼下开灯，上楼后关灯；反之下楼之前，在楼上开灯，下楼后关灯。试建立其逻辑关系，写出逻辑表达式。

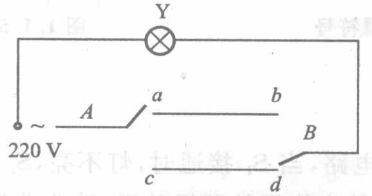


图 1.1.7 逻辑电路举例

解 设 Y 表示灯的状态，$Y=1$ 表示灯亮，$Y=0$ 表示灯不亮。A、B 分别表示两个开关的位置，$A(B)=1$ 表示开关向上，$A(B)=0$ 表示开关向下，则可列出输出 Y 和输入 A、B 的真值表，如表 1.1.5 所示。

其逻辑表达式为
$$Y=\overline{A}\,\overline{B}+AB$$

表 1.1.5 例 1.1.1 的真值表

输入		输出
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

2) 逻辑函数的表示方法

逻辑函数可以用真值表、逻辑函数式和逻辑图等来表示。

(1) 真值表

逻辑函数的真值表具有唯一性。逻辑函数有 n 个变量时，则共有 2^n 个不同的变量取值组合。在列真值表时，变量取值的组合一般按 n 位二进制数递增的方式列出。用真值表表示逻辑函数的优点是直观、明了，可直接看出逻辑函数值和变量取值之间的关系。

(2) 逻辑函数式

逻辑函数式可以由真值表得到，由真值表写出标准与-或逻辑函数式的方法如下。

① 把任意一组变量取值中的 1 代以原变量，0 代以反变量，由此得到一组变量的与组合，如 A、B、C 三个变量的取值为 110 时，则代换后得到的变量与组合为 $AB\overline{C}$。

② 把逻辑函数值为 1 所对应的各变量的与组合相加，便得到标准的与-或逻辑式。

(3) 逻辑图

逻辑图是用基本逻辑门和复合逻辑门的逻辑符号组成的对应于某一逻辑功能的电路图。

3. 逻辑代数的基本定律和规则

1) 逻辑代数的基本公式

(1) 逻辑常量运算公式

逻辑常量运算公式如表 1.1.6 所示。

表 1.1.6 逻辑常量运算公式

与运算	或运算	非运算
$0\cdot 0=0$	$0+0=0$	$\overline{1}=0$
$0\cdot 1=0$	$0+1=1$	
$1\cdot 0=0$	$1+0=1$	$\overline{0}=1$
$1\cdot 1=1$	$1+1=1$	

(2) 逻辑变量、常量运算公式

逻辑变量、常量运算公式如表 1.1.7 所示。

表 1.1.7 逻辑变量、常量运算公式

与运算	或运算	非运算
$A\cdot 0=0$	$A+0=A$	$\overline{\overline{A}}=A$
$A\cdot 1=1$	$A+1=1$	
$A\cdot A=A$	$A+A=A$	
$A\cdot\overline{A}=0$	$A+\overline{A}=1$	

2) 逻辑代数的基本定律

(1) 逻辑代数的基本定律

逻辑代数的基本定律如表 1.1.8 所示。

表 1.1.8 逻辑代数基本定律

交换律	$A+B=B+A$
	$A\cdot B=B\cdot A$
结合律	$A+B+C=(A+B)+C=A+(B+C)$
	$A\cdot B\cdot C=(A\cdot B)\cdot C=A\cdot(B\cdot C)$
分配律	$A(B+C)=AB+AC$
	$A+BC=(A+B)\cdot(A+C)$

续表

吸 收 律	证 明
① $AB+A\overline{B}=A$	$AB+A\overline{B}=A(B+\overline{B})=A\cdot 1=A$
② $A+AB=A$	$A+AB=A(1+B)=A\cdot 1=A$
③ $A+\overline{A}B=A+B$	$A+\overline{A}B=(A+\overline{A})(A+B)=1\cdot(A+B)=A+B$
④ $AB+\overline{A}C+BC=AB+\overline{A}C$	$AB+\overline{A}C+BC=AB+\overline{A}C+BC(A+\overline{A})=AB+\overline{A}C+ABC+\overline{A}BC$ $=AB(1+C)+\overline{A}C(1+B)=AB+\overline{A}C$

(2) 摩根定律

摩根定律表示为 $\overline{AB}=\overline{A}+\overline{B}$，$\overline{A+B}=\overline{A}\,\overline{B}$

3) 逻辑代数的三个重要规则

(1) 代入规则

在任何一个逻辑等式中，如果将等式两边出现的某变量 A，都用一个函数代替，则等式依然成立。

例如，在 $B(A+C)=BA+BC$ 中，将所有出现 A 的地方都代以函数 $A+D$，等式仍成立，即

$$B[(A+D)+C]=B(A+D)+BC=BA+BD+BC$$

代入规则可以扩大所有基本公式的应用范围。

(2) 反演规则

对于任一个逻辑函数 L，如果将其中所有的"·"改成"+"、"+"改成"·"，"1"改成"0"、"0"改成"1"，原变量改成反变量、反变量改成原变量，则所得的新逻辑函数 $\overline{L}$ 是原逻辑函数 L 的反函数。

反演规则必须遵守"先括号，其次与，最后或"的运算顺序。另外不属于单个变量上的反号应保留不变。

(3) 对偶规则

对于任何一个逻辑函数 L，如果将其中所有的"·"换成"+"、"+"换成"·"，"1"换成"0"、"0"换成"1"，变量保持不变，则所得到的新逻辑函数 L' 称为 L 的对偶式。

如果两个逻辑表达式相等，那么它们各自的对偶式也必然相等。函数对偶式的对偶式为函数本身。

4. 逻辑函数化简

1) 化简的意义与标准

(1) 化简逻辑函数的意义

根据逻辑问题归纳出来的逻辑函数式往往不是最简逻辑函数式，对逻辑函数进行化

简和变换，可以得到最简的逻辑函数式和所需要的形式，根据最简逻辑函数式可以设计出最简的逻辑电路。这对于节省元器件，优化生产工艺，降低成本和提高系统的可靠性，提高产品在市场的竞争力都是非常重要的。

(2) 逻辑函数式的几种常见形式和变换

一个逻辑函数的表达式可以有多种表达形式，每种表达式可以相互转换，其中最常见的是与或式。例如

$$
\begin{aligned}
L &= AB + \overline{A}C && \text{与或式}\\
&= (A + C)\cdot(\overline{A} + B) && \text{或与式}\\
&= \overline{\overline{A\cdot B}\cdot\overline{\overline{A}C}} && \text{与非-与非式}\\
&= \overline{\overline{A + C} + \overline{\overline{A} + B}} && \text{或非-或非式}\\
&= \overline{A\cdot\overline{B} + \overline{A}\cdot\overline{C}} && \text{与或非式}
\end{aligned}
$$

2) 逻辑函数的公式化简法

逻辑函数的公式化简法是运用逻辑代数的基本公式、定律和规则来化简逻辑函数的一种方法。

最简与或表达式的标准有两点：与项的个数最少；在满足上述条件下，每个乘积项的变量数最少。

① 并项法。

利用公式 $A + \overline{A} = 1$，将两项合为一项，并消去一个变量。例如

$$A\overline{B}C + A\overline{B}\,\overline{C} = A\overline{B}(C + \overline{C}) = A\overline{B}$$

$$AB\overline{C} + A\overline{\overline{B}\,\overline{C}} = A(B\overline{C} + \overline{\overline{B}\,\overline{C}}) = A$$

② 吸收法。

利用公式 $A + AB = A$，消去多余的项。例如

$$\overline{A} + B\overline{A}D = \overline{A}$$

$$\overline{A}B + \overline{A}BCD(E + F) = \overline{A}B$$

③ 消去法。

利用公式 $A + \overline{A}B = A + B$，消去多余的变量。例如

$$AB + \overline{A}C + \overline{B}C = AB + (\overline{A} + \overline{B})C = AB + \overline{AB}C = AB + C$$

还可利用公式 $AB + \overline{A}C + BC = AB + \overline{A}C$ 与 $AB + \overline{A}C + BCD = AB + \overline{A}C$，消去多余的变量。例如

$$A\overline{B} + AC + ADE + \overline{C}D = A\overline{B} + (AC + \overline{C}D + ADE) = A\overline{B} + AC + \overline{C}D$$

$$AB + \overline{B}C + AC(D + E) = AB + \overline{B}C$$

④ 配项法。

利用公式 $A\cdot 1 = 1$ 和 $A + \overline{A} = 1$，为某一项配上所缺的一个变量，以便利用其他方法化简。例如

$$
\begin{aligned}
AB + \overline{A}C + BC &= AB + \overline{A}C + (A + \overline{A})BC = AB + \overline{A}C + ABC + \overline{A}BC\\
&= (AB + ABC) + (\overline{A}C + \overline{A}BC) = AB + \overline{A}C
\end{aligned}
$$

还可利用公式 $A+A=A$，为某一项配上所能合并的项。例如

$$ABC+AB\overline{C}+A\overline{B}C+\overline{A}BC=(ABC+AB\overline{C})+(ABC+A\overline{B}C)+(ABC+\overline{A}BC)$$
$$=AB+AC+BC$$

在实际逻辑函数的化简中，很少单独使用一个公式、一种方法进行化简，经常需要综合运用多个公式、多种方法进行化简，才能得到最简的结果。

3) 逻辑函数的卡诺图化简法

(1) 最小项的定义及其性质

① 最小项的定义。

n 个变量 $x_1,x_2,\cdots,x_n$ 的最小项是 n 个因子的乘积，每个变量都以它的原变量或反变量的形式在乘积项中出现，且仅出现一次。

设 A、B、C 是 3 个逻辑变量，由这 3 个变量可以构成 $8(2^3=8)$ 个乘积项，其中 ABC、$A\overline{B}\overline{C}$、$AB\overline{C}$ 是最小项，AB、AC、$A(B+C)$ 则不是最小项。

② 最小项的性质。

三变量逻辑函数的最小项真值表如表 1.1.9 所示。

表 1.1.9　三变量最小项真值表

A	B	C	$\overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}$	$\overline{A}\,\overline{B}C$	$\overline{A}B\overline{C}$	$\overline{A}BC$	$A\overline{B}\,\overline{C}$	$A\overline{B}C$	$AB\overline{C}$	ABC
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

从表 1.1.9 可看出，最小项具有下列性质：

ⅰ. 对于任意一个最小项，只有一组变量取值使得它的值为 1，而在变量取其他各组值时，这个最小项的值都是 0；

ⅱ. 对于不同的最小项，使它的值为 1 的那一组变量取值也不同；

ⅲ. 对于变量的任一组取值，任意两个最小项之积为 0；

ⅳ. 对于变量的任一组取值，全体最小项之和为 1。

③ 最小项的编号。

最小项通常用 m_i 表示，下标 i 即最小项编号，用十进制数表示。三变量逻辑函数的最小项表示符号如表 1.1.10 所示。

表 1.1.10　三变量逻辑函数最小项表示符号

最　小　项	变量取值			表示符号
	A	B	C	
$\bar{A}\,\bar{B}\,\bar{C}$	0	0	0	m_0
$\bar{A}\,\bar{B}C$	0	0	1	m_1
$\bar{A}B\,\bar{C}$	0	1	0	m_2
$\bar{A}BC$	0	1	1	m_3
$A\,\bar{B}\,\bar{C}$	1	0	0	m_4
$A\,\bar{B}C$	1	0	1	m_5
$AB\,\bar{C}$	1	1	0	m_6
ABC	1	1	1	m_7

(2) 逻辑函数的最小项表达式

利用逻辑代数的基本公式，可以把任一个逻辑函数化成一种典型的表达式，即最小项之和的形式，这个式子称为最小项表达式。例如

$$\begin{aligned}L(A,B,C) &= \overline{(AB+\bar{A}\,\bar{B}+\bar{C})\,\overline{AB}} = (AB+\bar{A}\,\bar{B}+\bar{C})+AB \\ &= (\overline{AB}\cdot\overline{\bar{A}\,\bar{B}}\cdot C)+AB = (\bar{A}+\bar{B})(A+B)C+AB \\ &= \bar{A}BC+A\,\bar{B}C+AB = \bar{A}BC+A\,\bar{B}C+AB\,\bar{C}+ABC \\ &= \sum m(3,5,6,7)\end{aligned}$$

由此可见，任一个逻辑函数都可化成唯一的最小项表达式。

(3) 用卡诺图表示逻辑函数

① 卡诺图的引出。

一个逻辑函数的卡诺图就是将此函数的最小项表达式中的各最小项相应地填入一个特定的方格图内，此方格图称为卡诺图。图 1.1.8～图 1.1.10 所示分别表示二变量、三变量和四变量的卡诺图。

A \ B	0	1
0	m_0	m_1
1	m_2	m_3

图 1.1.8　二变量卡诺图

A \ BC	00	01	11	10
0	m_0	m_1	m_3	m_2
1	m_4	m_5	m_7	m_6

图 1.1.9　三变量卡诺图

AB \ CD	00	01	11	10
00	m_0	m_1	m_3	m_2
01	m_4	m_5	m_7	m_6
11	m_{12}	m_{13}	m_{15}	m_{14}
10	m_8	m_9	m_{11}	m_{10}

图 1.1.10　四变量卡诺图