21世纪电工电子学课程系列教材

数字电子技术实用教程

（机电类）

主　编　罗桂娥
副主编　陈明义　张晓丽　叶青

中南大学出版社

21世纪电工电子学课程系列教材

数字电子技术实用教程
(机电类)

主　编　罗桂娥

副主编　陈明义　张晓丽　叶　青

中南大学出版社

数字电子技术实用教程
(机电类)

主　编　罗桂娥

副主编　陈明义　张晓丽　叶　青

□责任编辑　肖梓高

□出版发行　中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路　邮编:410083

发行科电话:0731-8876770　传真:0731-8710482

电子邮件:csucbs @ public. cs. hn. cn

□经　　销　湖南省新华书店

□印　　装　中南大学印刷厂

□开　　本　787×960 1/16　□印张 14.75　□字数 265 千字

□版　　次　2003 年 2 月第 1 版　□2003 年 2 月第 1 次印刷

□书　　号　ISBN 7-81061-557-2/TM · 006

□定　　价　19.00 元

前　言

数字电子技术是一门很重要的专业基础课。为了适应数字电子技术的飞速发展、培养21世纪工程技术人才的需要，本书注重基础，精选内容，力求原理分析简明，做到理论联系实际。本书介绍数字逻辑电路分析与设计的原理、方法和应用，在内容上加强了SSI、MSI、LSI等各类集成组件的应用，并引入可编程逻辑器件PLD的开发与应用，介绍了最新的“在系统编程技术”，注重加强学生综合应用能力和创新能力的培养。

全书共7章。第1章为数字逻辑基础，介绍逻辑代数和逻辑函数的化简；第2章为门电路与组合逻辑电路，介绍逻辑门、集成逻辑门电路的工作原理以及组合逻辑电路的分析与设计方法；第3章介绍常见的中规模组合逻辑电路及其应用；第4章为触发器和时序逻辑电路，讨论触发器的逻辑功能、电路结构与动作特点，详细阐述了同步时序逻辑电路的分析与设计方法；第5章介绍常见中规模时序逻辑电路及其典型应用；第6章为数字系统及应用，讨论555集成定时器组成的各种脉冲电路、存储器及其应用、A/D及D/A变换器的工作原理；第7章为可编程逻辑器件，介绍FPLA、PAL、GAL、CPLD、FPGA、ISP-PLD等多种PLD的性能结构特点与工作原理以及PLD的开发过程。每章末均有小结、复习思考题和答案。

本书由中南大学信息科学与工程学院联合长沙交通学院计算机系集体编写。罗桂娥任主编，陈明义、张晓丽、叶青任副主编。其中，罗桂娥负责编写第1章、第6章中的555集成定时器及其应用和A/D、D/A转换；陈明义负责第7章、第6章中的存储器及其应用的编写；张晓丽负责第4章、第5章的编写；叶青负责第2章、第3章的编写。最后，由罗桂娥统稿定稿。

本书以满足机电类专业的需要为前提，尽量展现现代电子新技术。本书亦可作为高等工科院校电工类、电气类、电子与信息类、自动化类、计算机类、仪器仪表类专业的技术基础教材。

本书在编写过程中，李义府、宋学瑞、王英健等同志给予了大力支持并提出了许多宝贵的意见，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，殷切期望读者批评指正。

编　者

目　录

第 1 章 数字逻辑基础

在诸多的物理量中，可分为模拟量和数字量两大类。所谓数字量是指某一类物理量的变化在时间上和数量上都是离散的，它们的数值大小和每次的增减变化都是某个最小数量单位的整数倍，小于这个最小数量单位的数值没有任何意义。而另一类物理量的变化在时间上或数值上则是连续的，这一类物理量称为模拟量。

表示模拟量的信号称为模拟信号，处理模拟信号的电路称为模拟电路。表示数字量的信号称为数字信号，处理数字信号的电路称为数字电路。

数字电路对数字信号的处理包括数字信号的传输、逻辑运算、控制、计数、寄存、显示以及脉冲波形的产生和变换等。本章首先介绍逻辑代数的基本公式、基本定理，然后讲述逻辑函数及其表示方法，最后介绍逻辑函数的化简。

1.1 逻辑代数

逻辑代数是指按一定逻辑规律进行运算的代数，它是分析逻辑电路的有力工具，也是进行逻辑设计的理论基础。逻辑代数又称为布尔代数(Boolean Algebre)。

逻辑代数中也用字母表示变量，这种变量称为逻辑变量。一般用大写字母A、B、C、…表示，在二值逻辑中，每个逻辑变量的取值只有 0 和 1 两种可能。这里 0 和 1 已不再表示数量的大小，只代表两种不同的逻辑状态。

1.1.1 逻辑代数中的基本运算

逻辑代数中的基本运算有与、或、非三种，它们可以由相应的逻辑电路来实现。

一、与运算

逻辑与(逻辑乘)表示这样一种逻辑关系：只有决定事物结果的全部条件同时具备时，结果才发生。例如图 1-1 所示的电路是一个简单的与逻辑关系，灯 Y 受两个串联开关 A、B 的控制，仅当开关 A 与 B 同时闭合时，灯 Y 才亮，否则灯灭。

现用“1”来表示开关“闭合”及灯“亮”；用“0”表示开关“断开”及灯“灭”。那么可以列出表 1-1 所示的逻辑真值表。所谓真值表是指把逻辑变量所有可能的组合及其对应结果列成表格形式，此表便称为真值表。

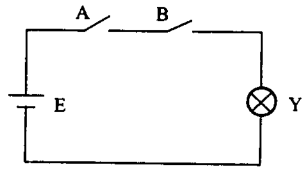

图 1-1　与逻辑示例

表 1-1 与逻辑运算真值表

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

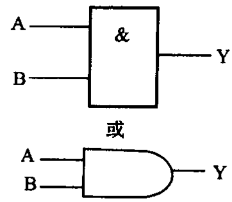

图 1-2　与门逻辑符号

上述与逻辑关系还可以表示成如下的逻辑函数式：Y＝A·B，式中“·”为“与”的逻辑运算符号。

在逻辑电路中，能实现与运算逻辑功能的电路称为与门，图 1-2 为与门的逻辑符号。

二、或运算

逻辑或(逻辑加)表示这样一种逻辑关系：在决定事物结果的诸条件中只要任何一个满足，结果就会发生。例如图 1-3 所示的电路是一个简单的或逻辑关系，灯 Y 受两个并联开关 A、B 的控制，只要 A、B 中任何一个开关闭合时，灯 Y 便亮。

对图 1-3 所示的电路可以列出表 1-2 所示的或逻辑运算真值表，也可以写出如下的或逻辑函数式：Y＝A＋B，式中“＋”为“或”的逻辑运算符号。

在逻辑电路中，能实现或运算逻辑功能的电路称为或门，图 1-4 为或门的逻辑符号。

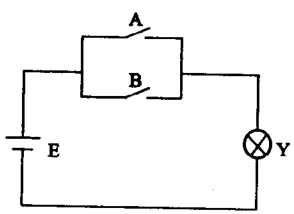

图 1-3　或逻辑示例

表 1-2　或逻辑运算真值表

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

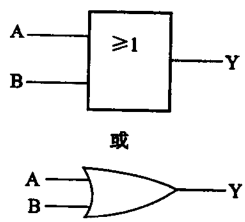

图 1-4　或门逻辑符号

三、非运算

逻辑非(逻辑求反)表示这样一种逻辑关系：只要条件具备了，结果便不会发生；而条件不具备时，结果一定发生。例如，图 1-5 所示的电路是一个简单的非逻辑关系，灯 Y 受开关 A 的控制，当开关 A 接通时，灯 Y 不亮；当开关 A 断开时，灯 Y 反而亮。

对图 1-5 所示的电路可以列出表 1-3 所示的非逻辑运算真值表，也可以写出如下的非逻辑函数式：$Y=\overline{A}$。通常 A 称为原变量，$\overline{A}$ 称为反变量。

在逻辑电路中，能实现非运算逻辑功能的电路称为非门(也叫反相器)，图 1-6 为非门的逻辑符号。

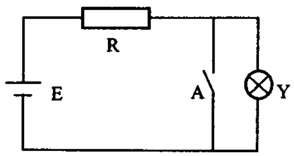

图 1-5　非逻辑示例

表 1-3　非逻辑运算真值表

A	Y
0	1
1	0

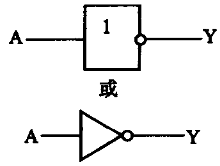

图 1-6　非门逻辑符号

四、复合运算

实际的逻辑问题往往比与、或、非复杂得多，不过它们都可以用与、或、非的组合来实现。常见的复合逻辑运算有与非、或非、与或非、异或、同或等。图 1-7 给出了这些复合逻辑运算的逻辑符号，表 1-4～1-8 是它们的真值表。

表 1-4　与非逻辑的真值表

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

表 1-5　或非逻辑的真值表

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

表 1-6　与或非逻辑的真值表

A	B	C	D	Y
0	0	0	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0

表 1-7　异或逻辑的真值表

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

表 1-8　同或逻辑的真值表

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

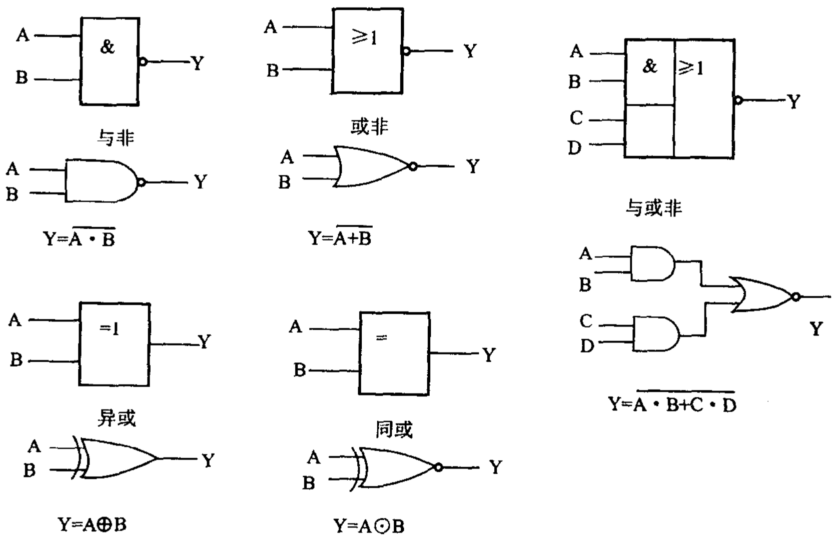

图 1-7　复合逻辑的图形符号和运算符号

在与非逻辑中,将 A、B 先进行与运算,然后将结果求反,最后得到的即 A、B 的与非运算结果,因此与非运算看做是与运算和非运算的组合。图 1-7 中图形符号上的小圆圈表示非运算。

在或非逻辑中,将 A、B 先进行或运算,然后将结果求反,最后得到的即 A、B 的或非运算结果,因此或非运算看做是或运算和非运算的组合。

异或是这样一种逻辑关系:当 A、B 不同时,输出 Y 为 1;当 A、B 相同时,输出 Y 为 0。异或也可以用与、或、非的组合表示。

$$A\oplus B=A\cdot\overline{B}+\overline{A}\cdot B \tag{1-1}$$

同或与异或相反,当 A、B 相同时,输出 Y 等于 1;当 A、B 不同时,输出 Y 等于 0。同或也可以写成与、或、非的组合形式。

$$A\odot B=A\cdot B+\overline{A}\cdot\overline{B} \tag{1-2}$$

而且由表 1-7 和表 1-8 可知,异或和同或互为反运算,即:

$$A\odot B=\overline{A\oplus B};\overline{A\odot B}=A\oplus B \tag{1-3}$$

在与逻辑中,为了简化书写,允许将 A · B 简写成 AB,略去逻辑相乘的运算符号“ · ”。

1.1.2　逻辑代数的公式

一、逻辑代数的基本公式和定律

(1)与运算。

$A \cdot 1 = A$　　$A \cdot 0 = 0$　　$A \cdot A = A$　　$A \cdot \overline{A} = 0$

(2)或运算。

$A + 1 = 1$　　$A + 0 = A$　　$A + A = A$　　$A + \overline{A} = 1$

(3)非运算。

$\overline{\overline{A}} = A$

(4)结合律。

$(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$　　$(A + B) + C = A + (B + C)$

(5)交换律。

$A \cdot B = B \cdot A$　　$A + B = B + A$

(6)分配律。

$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$　　$A + B \cdot C = (A + B) \cdot (A + C)$

(7)吸收律。

$A + A \cdot B = A$　　$A \cdot (A + B) = A$

(8)反演律(德·摩根定律)。

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

这些公式或定律的正确性可以用列真值表的方法加以验证。如果等式成立,那么将任何一组变量的取值代入公式两边所得的结果应该相等。因此,等式两边所对应的真值表也必然相同。

例 1-1　用真值表证明反演律的正确性。

解　已知反演律的公式为:

$$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B} \qquad \overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$$

将 A、B 所有可能的取值组合逐一代入上式的两边,算出相应的结果,即得到表 1-9 的真值表。可见,等式两边对应的真值表相同,故等式成立。

表 1-9　　反 演 律 的 真 值 表

A	B	$\overline{A \cdot B}$	$\overline{A} + \overline{B}$	$\overline{A + B}$	$\overline{A} \cdot \overline{B}$
0	0	1	1	1	1
0	1	1	1	0	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0

二、逻辑代数的基本定理

(1)代入定理。在任何一个含有变量 A 的等式中,如果将所有出现 A 的位置都代之以一个逻辑函数式,则等式仍然成立,这就是所谓的代入定理。

例 1-2　已知 $A(B + C) = AB + AC$,若将函数式 $Y = D + E$ 代入已知等式中

任一变量(假定为C)后,此等式仍然成立,试证明之。

证明　等式左边$=A[B+(D+E)]$

$$=AB+A(D+E)$$

$$=AB+AD+AE$$

等式右边$=AB+A(D+E)$

$$=AB+AD+AE$$

等式左边=等式右边

为了简化书写,除了乘法运算的“·”可以省略外,对一个乘积项或逻辑求反时,乘积项或逻辑项外边的括号也可以省略。

例1-3　用代入定理证明德·摩根定律

解　已知二变量的德·摩根定律

$$\overline{A\cdot B}=\overline{A}+\overline{B}\qquad \overline{A+B}=\overline{A}\cdot\overline{B}$$

今以(B·C)代入左边等式中B的位置,同时以(B+C)代入右边等式中B的位置,于是得到:

$$\overline{A\cdot B\cdot C}=\overline{A}+\overline{B\cdot C}=\overline{A}+\overline{B}+\overline{C}$$

$$\overline{A+B+C}=\overline{A}\cdot\overline{B+C}=\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot\overline{C}$$

(2)反演定理。对于任意一个逻辑式Y,若将其中所有的“·”换成“+”,“+”换成“·”,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$\overline{Y}$,这就是所谓的反演定理。

反演定理为求取已知逻辑式的反逻辑式提供了方便。在使用反演定理时还需注意遵循以下两个规则:

①仍需遵守“先括号、然后乘、最后加”的运算优先次序;

②不属于单个变量上的反号应保留不变。

例1-4　已知$Y_1=A\cdot\overline{B}+C\cdot\overline{D}$

$$Y_2=\overline{(A+B)}\cdot(\overline{C}+\overline{D})$$

求　$\overline{Y_1}$和$\overline{Y_2}$

解　根据反演定理可写出:

$$\overline{Y_1}=(\overline{A}+B)\cdot(\overline{C}+D)$$

$$\overline{Y_2}=\overline{(\overline{A}\cdot\overline{B})}+C\cdot D$$

(3)对偶定理。若两逻辑式相等,则它们的对偶式也相等,这就是对偶定理。

所谓对偶式是这样定义的:对于任何一个逻辑式Y,若将其中的“·”换成“+”,“+”换成“·”,0换成1,1换成0,则得到一个新的逻辑式Y’,这个Y’就叫做Y的对偶式,或者说Y和Y’互为对偶式。

例如,若 $Y=A(B+C)$,则 $Y'=A+BC$

若 $Y=A\cdot\overline{B}+C\cdot\overline{D}$,则 $Y'=(A+\overline{B})\cdot(C+\overline{D})$

若 $Y=\overline{\overline{AB}+\overline{CD}}$,则 $Y'=\overline{\overline{(A+B)}\overline{(C+D)}}$

有时为了证明两个逻辑式相等,也可以通过证明它们的对偶式相等来完成。

例 1-5　试证明 $A+BC=(A+B)(A+C)$

解　首先写出等式两边的对偶式,得到:

$A(B+C)$ 和 $AB+AC$

根据乘法的分配律可知,这两个对偶式是相等的,亦即 $A(B+C)=AB+AC$。由对偶定理即可以确定原来的等式也成立。

三、若干常用公式

运用上述基本公式和定理可以导出下列常用公式。

(1) $A+A\cdot B=A$。

证明: $A+A\cdot B=A(1+B)=A$

可见,在"与一或"表达式中,若其中一项以另一项为因子,则该项是多余的,可以删去。

(2) $A+\overline{A}\cdot B=A+B$。

证明: $A+\overline{A}\cdot B=(A+\overline{A})\cdot(A+B)=1\cdot(A+B)=A+B$

可见,在"与一或"表达式中,如果一项取反后是另一项的因子,则此因子是多余的,可以消去。

(3) $A\cdot B+A\cdot\overline{B}=A$。

证明: $A\cdot B+A\cdot\overline{B}=A(B+\overline{B})=A\cdot 1=A$

可见,在"与一或"表达式中,若两个乘积项分别含有 B 和 $\overline{B}$ 两个因子而其他因子相同,则两项定能合并,且可将 B 和 $\overline{B}$ 两个因子消去。

(4) $A\cdot(A+B)=A$。

证明: $A\cdot(A+B)=A\cdot A+A\cdot B=A+A\cdot B=A\cdot(1+B)=A\cdot 1=A$

可见,变量 A 和包含变量 A 的和相乘时,其结果等于 A,即可以将和消去。

(5) $A\cdot B+\overline{A}\cdot C+B\cdot C=A\cdot B+\overline{A}\cdot C$。

证明: $A\cdot B+\overline{A}\cdot C+B\cdot C=A\cdot B+\overline{A}\cdot C+B\cdot C\cdot(A+\overline{A})=A\cdot B+\overline{A}\cdot C+A\cdot B\cdot C+\overline{A}\cdot B\cdot C=A\cdot B\cdot(1+C)+\overline{A}\cdot C\cdot(1+B)=A\cdot B+\overline{A}\cdot C$

可见,在三个乘积项的"与一或"表达式中,若有两个乘积项中,分别包含有因子 A 和 $\overline{A}$,而这两项的其他因子都是第三项的因子时,则第三项是多余的,可以消去。

(6) $A\cdot\overline{A\cdot B}=A\cdot\overline{B}$; $\overline{A}\cdot\overline{A\cdot B}=\overline{A}$。

证明: $A\cdot\overline{A\cdot B}=A\cdot(\overline{A}+\overline{B})=A\cdot\overline{A}+A\cdot\overline{B}=A\cdot\overline{B}$

上式说明，当 A 和一个乘积项的非相乘，且 A 为乘积项的因子时，则 A 这个因子可以消去。

$$\overline{A}\cdot\overline{\overline{A}\cdot B}=\overline{A}\cdot(\overline{\overline{A}}+\overline{B})=\overline{A}\cdot\overline{\overline{A}}+\overline{A}\cdot\overline{B}=\overline{A}\cdot(1+\overline{B})=\overline{A}$$

上式说明，当 $\overline{A}$ 和一个乘积项的非相乘，且 A 为乘积项的因子时，其结果就等于 $\overline{A}$。

1.2 逻辑函数及其表示方法

1.2.1 逻辑函数

在实际问题中，往往是用"与"、"或"、"非"这三种逻辑运算符号把有关的逻辑变量连接起来，以构成一定的逻辑关系。例如图 1-8 是楼上楼下都可控制的楼梯照明灯电路。单刀双掷开关 A 装在楼上，B 装在楼下。设开关向上合为 1，向下合为 0；灯 Y 亮为 1，灯灭为 0。显然，灯 Y 的状态(亮与灭)是开关 A、B 状态(向上合与向下合)的函数，Y 与 A、B 之间的逻辑函数关系可表示成下式：

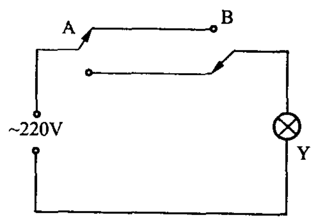

图 1-8 楼梯照明电路

$$Y=AB+\overline{A}\overline{B}$$

在 A、B 都为 1，或者 A、B 都为 0 时，Y 为 1，即灯亮，否则灯灭。这里，A、B 叫做输入逻辑变量(自变量)，Y 叫做输出逻辑变量(因变量)。当 A、B 取值确定后，Y 的值也被确定了，因此 Y 是 A、B 的二值逻辑函数。

由于变量和输出的取值只有 0、1 两种状态，所以我们所讨论的都是二值逻辑函数。

一般，若输入逻辑变量 A、B、C、…的值确定后，其输出变量的值也就被惟一地确定了，则称 Y 为 A、B、C、…的逻辑函数，记做 Y=F(A、B、C、…)，即用一个逻辑函数表达式来表示。

1.2.2 逻辑函数的表示方法

常用的逻辑函数表示方法有逻辑真值表(简称真值表)、逻辑函数式、逻辑图和卡诺图等。这一节只介绍前面三种方法。

一、逻辑函数式

把输出与输入之间的逻辑关系写成与、或、非等运算的组合式，即逻辑代数