21世纪电工电子学课程系列教材

数字电子技术基础

（电类）

主　编　陈明义

副主编　覃爱娜　陈革辉

3

中南大学出版社

21世纪电工电子学课程系列教材

数字电子技术基础

（电类）

主　编　陈明义
副主编　覃爱娜　陈革辉

中南大学出版社

21世纪电工电子学课程系列教材

数字电子技术基础

（电类）

主编　陈明义

□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

□印　　装　长沙市华中印刷厂

□开　　本　730×960 1/16　□印张 24.75　□字数 453千字

□版　　次　2005年2月第1版　□2005年2月第1次印刷

□书　　号　ISBN 7-81105-008-0/TM・001

□定　　价　29.80元

前　言

“数字电子技术基础”是工科院校电气电子信息类专业的一门重要的技术基础课，是研究各种数字器件、数字电路、数字系统、模数混合系统的工作原理和分析与设计方法。为适应电子信息科学技术的飞速发展和21世纪对高素质创新人才培养的要求，我们结合多年的教学实践经验，编写了《数字电子技术基础》。本书具有以下特点：

（1）力求少而精，在“精炼”上取胜。精选内容，优选讲法，以符合教学基本要求为准。

（2）在保证基础内容的前提下，加重中大规模数字集成电路的应用及数字系统的分析与设计，同时对数字电子技术的新内容（如可编程逻辑器件、VHDL语言）做了适当的介绍。

（3）为了解决内容多与学时紧的矛盾，并突出学生个性培养，在每一章的最后一节提供了部分自学材料。在学时多的情况下，教师也可选讲部分自学材料，真正做到了好教好学。

本书共有10章。第1章为逻辑代数基础，介绍逻辑代数的基本概念、公式定理，逻辑函数的表示法及化简法；第2章为门电路，主要介绍了TTL、CMOS两种集成门电路的电路结构、工作原理、有关特性与参数，重点介绍了三种特殊结构（OC、TS、TG）数字集成电路技术；第3章为组合逻辑电路，主要介绍组合逻辑电路的分析与设计方法，重点介绍了几种常用的中规模集成组合逻辑芯片；第4章为触发器，主要介绍各种不同类型触发器的电路结构、动作特点和逻辑功能；第5章为时序逻辑电路，主要介绍时序逻辑电路的分析与设计方法，重点介绍了几种常用的中规模集成时序逻辑芯片；第6章为半导体存储器，主要介绍ROM、RAM的电路结构、工作原理和特点；第7章为数字系统的分析与设计，主要介绍数字系统组成的概念，数字系统的分析与设计方法，数字系统的扩展方法；第8章为可编程逻辑器件，主要介绍各种可编程逻辑器件的结构、工作原理及特点，同时对VHDL语言进行了介绍；第9章为

脉冲波形产生与整形，主要介绍施密特触发器、单稳态触发器、多谐振荡器的特点、作用和电路构成；第 10 章为数模与模数转换，主要介绍 ADC、DAC 的特点、电路构成和工作原理等。

本书是在总结中南大学信息科学与工程学院电子科学与技术系多年教学经验的基础上完成的。陈明义任主编，覃爱娜、陈革辉任副主编。其中，覃爱娜负责第 1 章、第 2 章、第 3 章的编写；陈革辉负责第 4 章、第 5 章、第 6 章的编写；陈明义负责第 7 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章的编写。最后，由陈明义统稿定稿。

本书编写过程中得到了全体同仁的大力支持。在此一并表示衷心的感谢。

本书可作为高等学校电气电子信息类专业“数字电子技术基础”（64 学时、不含实验）课程的教材，也可作为从事电子技术的工程技术人员及广大电子技术爱好者的参考书。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有许多不妥之处，殷切期望读者批评与指正。

编　者

2004 年 12 月

目　录

第 1 章　逻辑代数基础

1.1　概述

1849 年，英国数学家乔治·布尔(George Boole)首先提出了描述客观事物关系的数学方法——布尔代数。后来，由于布尔代数被广泛地应用于开关电路和数字逻辑电路的分析和设计上，所以也把布尔代数叫做开关代数或逻辑代数。逻辑代数是分析和设计数字逻辑电路的数学工具。

1.2　逻辑变量和逻辑运算

1.2.1　逻辑变量

逻辑变量是用于描述客观事物对立统一的两个方面。逻辑代数中的逻辑变量通常用单个字母或字母加下标表示。在二值逻辑中，每个逻辑变量的取值只有 0 和 1 两种可能。这里的 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，如电平的高和低、电流的有和无、灯的亮和灭、开关的闭合和断开等。

1.2.2　基本逻辑运算

逻辑代数中的基本逻辑运算有与、或、非 3 种。

1. 与逻辑

与逻辑可以从图 1.1(a)所示的指示灯控制电路来说明。在此电路中，只有当两个开关 A、B 同时闭合时，指示灯 Y 才会亮。此例表明，只有决定事物结果的全部条件同时具备时，结果才会发生。这种因果关系叫做与逻辑，或者叫逻辑与。

现用 A、B 作为条件变量表示开关，并以“1”表示开关“闭合”，“0”表示开关“断开”；用 Y 作为结果变量表示灯，并以“1”表示灯“亮”，“0”表示灯“灭”。则可以列出用 0，1 表示的与逻辑关系的图表，如表 1.1 所示。这种图表叫做逻辑真值表，简称为真值表。

在逻辑代数中，可以把上述逻辑关系写成这样的逻辑表达式：$Y=A\cdot B$，式中

“·”为“与”的逻辑运算符号，也称为逻辑乘，使用时也可将其省略，写成 $Y=AB$。

在逻辑电路中，能实现与运算逻辑功能的电路称为与门。图 1.1(b) 所示为与门的国标符号和国际常用符号。

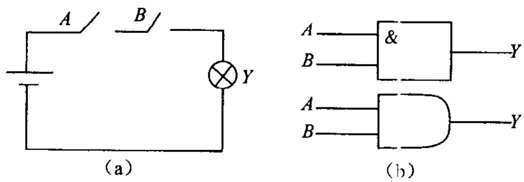

图 1.1 用于说明与逻辑的电路及其符号

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

2. 或逻辑

或逻辑可以用图 1.2(a) 所示的指示灯控制电路来说明。在此电路中，只要两个开关 A、B 任何一个闭合，指示灯 Y 就会亮。此例表明，在决定事物结果的诸多条件中只要有一个满足，结果就会发生，这种因果关系叫做或逻辑，或者叫逻辑或。

或逻辑的真值表如表 1.2 所示，或逻辑的运算符号是“+”，也称为逻辑加。其逻辑关系可写成 $Y=A+B$。

能实现或运算逻辑功能的电路称为或门，图 1.2(b) 为或门的国标符号和国际常用符号。

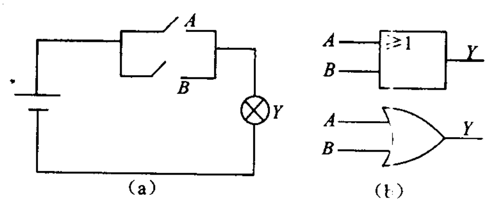

图 1.2 用于说明或逻辑的电路及其符号

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

3. 非逻辑

非逻辑运算可以从图 1.3(a) 所示的指示灯控制电路来说明。在此电路中，开关 A 闭合时，指示灯 Y 不会亮，开关断开时，灯反而亮。此例表明，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，这种因果关系叫做非逻辑，也叫逻辑非。

非逻辑的真值表如表 1.3 所示，非逻辑的运算符号是“ - ”，也称为逻辑反。其逻辑关系式可写成 $Y=\overline{A}$。

能实现非运算逻辑功能的电路称为非门（也叫反相器），图 1.3(b) 为非门的国标符号和国际常用符号。

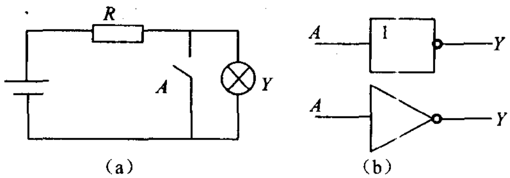

图1.3　用于说明非逻辑的电路及其符号

表1.3　非逻辑运算真值表

A	Y
0	1
1	0

1.2.3　复合逻辑运算

实际的逻辑问题往往比与、或、非基本逻辑复杂，不过它们都可以用与、或、非组合成的复合逻辑来实现。最常见的复合逻辑运算有与非、或非、与或非、异或和同或逻辑等，表1.4～1.8给出了这些复合逻辑运算的真值表。图1.4是它们的逻辑符号。

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

由这些真值表可见，与非逻辑是将 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，与非运算即是与运算和非运算的组合，图 1.4 图形符号上的小圆圈表示非运算。同样，或非逻辑是或运算和非运算的组合。

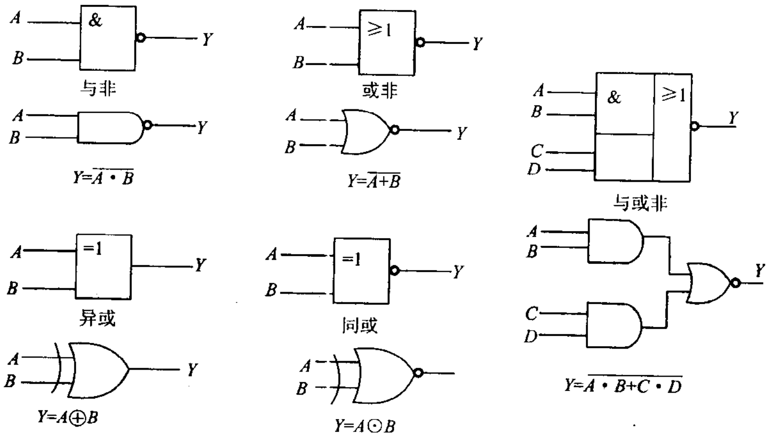

图 1.4 复合逻辑的图形符号和运算符号

在与或非逻辑中，A、B 之间以及 C、D 之间都是与的关系，然后把它们与的结果进行或运算，最后再进行非运算。因此，只要 A、B 或 C、D 任何一组同时为 1，Y 就是 0；只有当每一组输入都不全是 1 时，输出 Y 才是 1。

异或的逻辑关系是：当 A、B 不同时，输出 Y 是 1；而 A、B 相同时，输出 Y 是 0。异或也可用与、或、非的组合表示。

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

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

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

而且，由表 1.7 和 1.8 可见，异或和同或互为反运算，即

$$A\oplus B=\overline{A\odot B};\ \overline{A\odot B}=A\oplus B。$$

1.3 逻辑代数的公式和定理

1.3.1 逻辑代数的基本公式和常用公式

1. 基本公式

逻辑代数的基本公式也叫布尔恒等式，它们反映了逻辑代数运算的基本规

律，其正确性都可以用真值表加以验证。

(1)常量与变量关系公式

$A \cdot 0=0$，$A \cdot 1=A$，$A+0=A$，$A+1=1$

(2)变量之间关系公式

交换律：$AB=BA$，$A+B=B+A$

结合律：$(AB)C=A(BC)$，$(A+B)+C=A+(B+C)$

分配律：$A(B+C)=AB+AC$，$A+BC=(A+B)(A+C)$

互补律：$A+\overline{A}=1$，$A \cdot \overline{A}=0$

重叠律：$A+A=A$，$A \cdot A=A$

还原律：$\overline{\overline{A}}=A$

反演律(德・摩根定理)：$\overline{A \cdot B}=\overline{A}+\overline{B}$，$\overline{A+B}=\overline{A} \cdot \overline{B}$

2. 常用公式

逻辑代数的常用公式是利用基本公式导出的，在逻辑函数的化简中可直接运用。

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

证：$A+A \cdot B=A(1+B)=A$

可见，在两个乘积项相加时，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：$A+\overline{A} \cdot B=(A+\overline{A}) \cdot (A+B)=A+B$

可见，在两个乘积项相加时，若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：$A \cdot B+A \cdot \overline{B}=A(B+\overline{B})=A \cdot 1=A$

可见，当两个乘积项相加时，若它们分别含有 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：$A \cdot (A+B)=A \cdot A+A \cdot B=A+A \cdot B=A$

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：
$$\begin{aligned}A \cdot B+\overline{A} \cdot C+B \cdot C &=A \cdot B+\overline{A} \cdot C+(A+\overline{A})B \cdot C \\ &=A \cdot B+\overline{A} \cdot C+A \cdot B \cdot C+\overline{A} \cdot B \cdot C \\ &=A \cdot B(1+C)+\overline{A} \cdot C(1+B) \\ &=A \cdot B+\overline{A} \cdot C\end{aligned}$$

可见，若两个乘积项中分别包含A和$\overline{A}$两个因子，而这两个乘积项的其余因子都是第三项（可含其他因子）的因子，则第三个乘积项是多余的，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：$A\cdot\overline{A\cdot B}=A\cdot(\overline{A}+\overline{B})=A\cdot\overline{A}+A\cdot\overline{B}=A\cdot\overline{B}$

上式表明，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。

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

上式表明，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$\overline{A}$。

1.3.2 逻辑代数的基本定理

1. *代入定理*

代入定理规定，在任何一个含有某个变量的逻辑等式中，用另外一个逻辑式代入式中所有这个变量的位置，等式仍然成立。

因为任何一个逻辑式和逻辑变量一样，只有0和1两种可能取值，所以用一个函数式取代某个变量，等式自然成立。

代入定理可将逻辑代数中的基本公式和常用公式推广为多变量的形式。

例 1.1 用代入定理证明德·摩根定理的多变量情况。

解 已知二变量的德·摩根定理为

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

现以$(B\cdot C)$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，可得到

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

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

2. *反演定理*

反演定理规定，将原逻辑式Y中的全部“·”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$\overline{Y}$。

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守以下两个规则：

①仍需遵守“先括号、然后乘，最后加”的运算优先顺序。

②不属于单个变量上的反号应保留不变。

例 1.2 已知$Y_1=A\cdot\overline{B}+\overline{C}\cdot D$

$$Y_2 = AB + \overline{(C + \overline{D}B)} + \overline{BC}$$

求 $\overline{Y}_1$ 和 $\overline{Y}_2$

解　根据反演定理可写出:

$$\overline{Y}_1 = (\overline{A} + B) \cdot (C + \overline{D})$$

$$\overline{Y}_2 = (\overline{A} + \overline{B}) \cdot \overline{\overline{C} \cdot (D + \overline{B})} \cdot \overline{\overline{B} + \overline{C}}$$

3. 对偶定理

对偶定理规定，将原逻辑式 Y 中的全部"·"换成"+"，"+"换成"·"，"0"换成"1"，"1"换成"0"，所得到的逻辑式就是原逻辑式的对偶式，记做 Y'。若两逻辑式相等,则它们的对偶式也相等。

利用对偶定理有时可简化证明。

例 1.3　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 $AB + AC$

根据基本公式中的分配律可知，这两个对偶式是相等的，亦即 $A(B + C) = AB + AC$。由对偶定理即可确定原来的等式也成立。

1.4　逻辑函数及其表示方式

在实际问题中，常常是用"与"、"或"、"非"这3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。如果以代表原因和条件的逻辑变量作为输入，以结果变量作为输出，那么，当输入逻辑变量如 A、B、C、…的值确定后,其输出变量 Y 的值也就被惟一地确定了，即 Y 与 A、B、C、…之间构成了函数关系，则称 Y 为 A、B、C、…的逻辑函数，记做

$$Y = F(A、B、C、\cdots)$$

即用一个逻辑函数表达式来表示。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。

任何一个具体的因果关系都可以用一个逻辑函数来描述。

1.4.1　逻辑函数的表示方法

在数字电路中,逻辑真值表(简称真值表)、逻辑函数式(也称逻辑式或函数式)、逻辑图和卡诺图是常用的逻辑函数表示方法。这一节只介绍前面3种方法。

1. 逻辑真值表

将输入变量所有的取值组合下对应的输出值找出来，列成表格，即可得到

真值表。

例如图 1.5 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。根据电路的工作原理不难知道，只有 A、B 同时为 1 或同时为 0 时，Y 才等于 1；否则 Y 等于 0。于是可以列出图 1.5 的真值表 1.9。

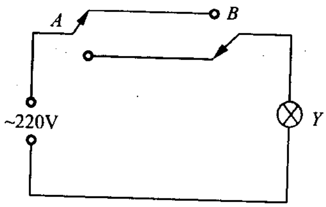

图 1.5 楼梯照明电路

表 1.9 图 1.5 电路的真值表

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

2. 逻辑函数式

把输入输出之间的逻辑关系用与、或、非的组合式表达出来，即得到了该逻辑关系的逻辑函数式。在图 1.5 中，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，根据对电路功能的要求和与、或、非的逻辑定义，“A 和 B 同时向上合，或 A 和 B 同时向下合时，灯 Y 亮；否则灯 Y 灭”，因此得到的输出逻辑函数式为

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

3. 逻辑图

将逻辑函数中各变量之间的与、或、非关系用图形符号表示出来，就可以画出表示函数关系的逻辑图。

为了画出图 1.5 所示电路的逻辑图，只要用逻辑运算的图形符号代替逻辑函数式中的代数运算符号便可得到图 1.6 所示的逻辑图。

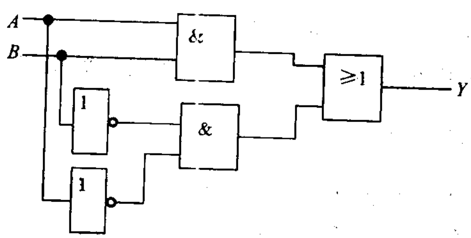

图 1.6 例 1.1 的逻辑图