K A O Y A N X I N G A N X I A N

丛书主编　王凤兰

考研新干线

数字电子技术常见题型解析及模拟题

蔡惟铮　主编
王淑娟　副主编

国防工业出版社
http://www.ndip.cn

考研新干线

数字电子技术
常见题型解析及模拟题

蔡惟铮 主 编
王淑娟 副主编

国防工业出版社
·北京·

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术常见题型解析及模拟题／蔡惟铮主编．
北京：国防工业出版社，2004.1
（考研新干线）
ISBN 7-118-03332-4

Ⅰ．数…　Ⅱ．蔡…　Ⅲ．数字电路-电子技术-研究生-入学考试-自学参考资料　Ⅳ．TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 111721 号

国防工业出版社出版发行
（北京市海淀区紫竹院南路 23 号）
（邮政编码　100044）
天利华印刷装订有限公司印刷
新华书店经售

*

开本 787×1092　1/16　印张 $10\frac{3}{4}$　240 千字
2004 年 1 月第 1 版　2004 年 1 月北京第 1 次印刷
印数：1—5000 册　定价：15.00 元

《考研新干线》丛书编委会

前　　言

本书系学习指导类辅助教材，旨在帮助学习《数字电子技术》课程的学生掌握课程的基本概念、重点、难点和主要的分析方法。把握好本课程的重点和难点是掌握本课程的关键，这里要说明的是，重点不一定是难点，难点可能是重点，但也不一定都是重点。不论是重点还是难点，其中的基本概念是最重要的。掌握基本概念的定义固然重要，但学会运用基本概念分析问题和解决问题更加重要。所以，做习题的主要目的是掌握好概念，特别是同一概念在不同题型中的具体应用，以深化对概念的理解；通过做习题考核自己掌握基本概念的正确性和准确性，以及是否会运用电子电路的基本分析方法。这些分析方法除了与电路基础课程中的方法有共同之处外，还有其特殊性。因此要学好《数字电子技术》这门课，掌握电路基础课程是很重要的。

本书的章节按现行教材安排，每章中的内容分学习要点、重点难点、例题分析和自我测试4个部分。在学习要点中简明扼要地介绍了本章的主要内容和基本要求。在重点难点中对本章的重点和难点进行了介绍，有的部分是对教材内容的概述，有的部分是对教材内容的总结，部分内容在一般教材中难于看到。考虑到同学们已经基本学习完本课程了，所以书中有的内容是前后联系在一起加以说明的。如果同学们还没有学完本课程，暂时看不懂，可以先跳过去，以后再看。在例题分析和自我测试中，要通过例题巩固概念，分辨不同概念的差别和相似之处；要融会贯通，尤其要通过例题学会用基本概念解决实际问题的本领；要学会用某一个概念解决多个不同问题的本领。这样便会越学越自由，书也就越学越薄，真正达到了少而精的目的。本书还收集了一部分电子技术课程的试题，分类给出，供同学们参考，对于报考硕士研究生的同学也十分有益。

本书由哈尔滨工业大学电子学教研室的教师编写，参加编写工作的有蔡惟铮、王淑娟、王宇野、张辉、齐明、于泳等，由蔡惟铮任主编，王淑娟任副主编。由于时间紧，可能会有差错之处，恳请读者批评指正，不胜感谢。

编　者

2003年7月

内 容 简 介

本书是一本帮助学生学习《数字电子技术》课程的辅助教材，共分 8 章。其内容主要是遵照教育部颁发的电子技术基础教学基本要求，以及近年来高校本课程的教学情况而确定的。每章由学习要点、重点难点、例题分析和自我测试 4 个部分组成。

本书可供本科生、报考硕士研究生的同学使用，对讲授本门课程的教师也有参考价值。

目　　录

第 1 章　逻辑函数的化简与变换

1.1　学习要点

(1) 逻辑代数中的基本概念:逻辑电平、双值逻辑、逻辑变量、逻辑运算和逻辑函数等。

(2) 逻辑代数的基本定律、形式定理和基本规则。

(3) 最小项与最大项的定义、性质,与或标准型。

(4) 逻辑函数的逻辑式、真值表、逻辑图和卡诺图表示法。

(5) 逻辑函数的化简:代数法化简和卡诺图法化简。

1.2　重点难点

1.2.1　逻辑代数中的基本概念

1. 逻辑变量

逻辑变量与普通代数一样也用字母表示,但每个变量只取“0”或“1” 2 种情况,即变量不是取“0”,就是取“1”。

2. 双值逻辑和逻辑电平

目前使用的逻辑代数属于双值逻辑系统的数学工具,双值逻辑系统的信号遵循高电平和低电平的规定。信号只要不小于 U_{Hmin},不大于电路承受电压的水平,就认为是高电平,它的确切数值并不重要;信号只要不大于 U_{Lmax},就认为是低电平。

3. 正逻辑和负逻辑

把“1”定义为高电平,“0”定义为低电平,这种逻辑体制称为正逻辑;反之,将“1”定义为低电平,“0”定义为高电平,这种逻辑体制称为负逻辑。

1.2.2　逻辑运算

一、基本逻辑运算

1. 逻辑加法(“或”运算)

逻辑加法(“或”运算)的定义式为 $P = A + B$。这里必须指出的是,逻辑加法与算术加法的运算规律不同,要特别注意在逻辑代数中:$1 + 1 = 1$。

2. 逻辑乘法(“与”运算)

逻辑乘法(“与”运算)的定义式为 $P = AB$ 或 $P = A \cdot B$。

3. 逻辑非

逻辑非的定义式为 $P = \bar{A}$,读作“A 反”或“A 非”。

此外还有在基本运算基础上形成的组合运算，有与或、或与、与非、或非、与或非、异或等。

以上逻辑运算是针对正逻辑体制而言的。要注意正逻辑的“与”相当于负逻辑的“或”，不同的逻辑体制，“与”和“或”不同。它们的关系如表 1.1 所列。

表 1.1　正逻辑和负逻辑的对应关系

电平真值表				正逻辑真值表				负逻辑真值表			
A	B	与	或	A	B	与	或	A	B	或	与
L	L	L	L	0	0	0	0	1	1	1	1
L	H	L	H	0	1	0	1	1	0	1	0
H	L	L	H	1	0	0	1	0	1	1	0
H	H	H	H	1	1	1	1	0	0	0	0

二、组合逻辑运算

将基本逻辑运算进行各种组合，可以获得与非、或非、与或非、异或、同或等组合逻辑运算。各种组合逻辑运算的表达式如下。

1. 与非逻辑运算

逻辑表达式为

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

2. 或非逻辑运算

逻辑表达式为

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

3. 与或非逻辑运算

逻辑表达式为

$$P = \overline{AB + CD}$$

4. 异或逻辑运算

逻辑表达式为

$$P = A \oplus B = \bar{A}B + A\bar{B}$$

注意：1 次异或逻辑运算只有 2 个输入变量，多个变量的异或运算，必须 2 个 2 个变量分别进行。例如 $A \oplus B \oplus C$，先进行其中 2 个变量的异或运算，其结果再和第 3 个变量进行异或运算。以下的同或运算也具有同样的特点。

5. 同或逻辑运算

逻辑表达式为

$$P = A \odot B = \bar{A}\bar{B} + AB$$

1.2.3　基本公式

基本公式反映了逻辑运算的一些基本规律，熟练地掌握这些基本公式，才能正确地分

析和设计逻辑电路。表 1.2 列出了逻辑代数常用的基本公式。基本上可以概括为 5 种类型。

(1) 变量与常量之间的关系,如表中序号 1、2 对应的 4 个公式。

(2) 变量自身之间的关系,如表中序号 3、4 对应的 4 个公式。

(3) 与或逻辑关系:

$$A + AB = A$$

$$A + \bar{A}B = A + B$$

$$AB + \bar{A}C + BC = AB + \bar{A}C$$

(4) 或与逻辑关系:

$$A(A + B) = A$$

$$A(\bar{A} + B) = AB$$

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

(5) 求反的逻辑关系:

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

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

表 1.2 基本公式

序号	名 称	基本公式	对偶式
1	变量与常量之间的关系	$A \cdot 0 = 0$	$A + 1 = 1$
2		$A \cdot 1 = A$	$A + 0 = A$
3	变量自身之间的关系	$A \cdot A = A$	$A + A = A$
4		$A \cdot \bar{A} = 0$	$A + \bar{A} = 1$
5	吸收律	$A + AB = A$	$A(A + B) = A$
6	去因子	$A + \bar{A}B = A + B$	$A(\bar{A} + B) = AB$
7	消项	$AB + \bar{A}C + BC = AB + \bar{A}C$	$(A + B)(\bar{A} + C)(B + C) = (A + B)(\bar{A} + C)$
8	摩根定理	$\overline{AB} = \bar{A} + \bar{B}$	
9		$\overline{A + B} = \overline{AB}$	
10	还原律	$\bar{\bar{A}} = A$	

布尔代数中还有一些显而易见的定律和公式,如交换律、结合律、分配律等。

1.2.4 基本规则

一、对偶规则

1. 对偶式

在一个逻辑函数式 P 中,如果进行加乘互换、"0""1"互换,得到的新的表达式称为原

式的对偶式,记为 P'(注意不实行原反互换)。

2. 对偶规则

如果布尔函数 F 和 G 相等,则其对偶式 F' 和 G' 也相等,即 $F'=G'$。有了对偶规则,当要证明 2 个逻辑函数式相等时,可以通过其对偶式相等而得证。

二、代入规则

在任一含有变量 A 的逻辑等式中,如果用另一个逻辑函数 F 代替所有的变量 A,则新等式仍然成立。代入规则扩大了逻辑函数基本公式的应用范围。

三、反演规则

在一个逻辑函数式 P 中,如果进行加乘互换、“0”“1”互换、原反互换,得到原逻辑函数 P 的反函数,记为 $\bar{P}$。利用反演规则,可以容易地求得一个函数的反函数。

应用反演规则要注意,对于有多层反号的情况,只对最外层的反号进行变换,最外层反号以下的部分不变。

四、展开规则

展开规则又叫做展开定理,包含有 2 个规则。

展开规则 1:

$$f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)=(x_1+\bar{x}_1)f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)=$$
$$x_1f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)+\bar{x}_1f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)$$

由于上式中 $x_1f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)$项只有在 $x_1=1$ 时才有效,$\bar{x}_1f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)$项只有在 $x_1=0$ 时才有效,因此

$$f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)=x_1f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)+\bar{x}_1f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)=$$
$$x_1f(1,x_2,x_3,\cdots,x_n)+\bar{x}_1f(0,x_2,x_3,\cdots,x_n)$$

展开规则 2:

$$f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)=(x_1+\bar{x}_1)f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)+f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)=$$
$$x_1f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)+\bar{x}_1f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)+$$
$$f(x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n)+x_1\bar{x}_1=$$
$$[x_1+f(0,x_2,x_3,\cdots,x_n)][\bar{x}_1+f(1,x_2,x_3,\cdots,x_n)]$$

当 $x_1=0$ 时,第 2 个中括号为“1”,该逻辑函数由第 1 个中括号决定;当 $x_1=1$ 时,该逻辑函数由第 2 个中括号决定。展开规则 1 和 2 是对偶的。

1.2.5 最小项和最大项

一、最小项和最大项的定义

1. 最小项

若逻辑函数有 n 个输入变量,则全部 n 个变量的逻辑乘即是最小项。在最小项中,每个变量均以原变量或反变量的形式出现,且仅出现 1 次,所以可能有 2^n 个最小项,用符号 m_i 表示。将最小项中的原变量用“1”代替,反变量用“0”代替,这个二进制代码所对应的十进制码就是最小项的下标 i。

2. 最大项

逻辑函数的最大项为 n 个输入变量的逻辑和,每个变量均以原变量或反变量的形式在最大项中出现,且仅出现 1 次,所以可能有 2^n 个最大项,用符号 M_I 表示。

二、最小项和最大项的性质

(1) 在输入变量的任何取值下必有 1 个最小项,而且仅有 1 个最小项的值为"1",其余最小项的值都是"0",即所谓 $N(2^n)$中取 1 个"1"。以 2 变量为例:

A	B	m_3	m_2	m_1	m_0
0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0

(2) 全部最小项之和恒等于"1",即

$$m_3 + m_2 + m_1 + m_0 = 1$$

(3) 任意 2 个最小项之积恒等于"0",即

$$m_i m_j = 0$$

(4) 具有相邻性的 2 个最小项之和可以合并为 1 项,并消去 1 个因子。

(5) 若干个最小项之和等于其余最小项和之反,即

$$m_1 + m_2 = \overline{m_0 + m_3}$$

$$m_0 = \overline{m_1 + m_2 + m_3}$$

(6) 最小项的反是最大项,最大项的反是最小项,即

$$\overline{m}_2 = \overline{A\overline{B}} = \overline{A} + B = M_2$$

如果与最小项一样,将最大项中的变量用二进制码表示,则最大项的下标 I 是最小项下标 i 的补码,即

$$i + I = 2^n - 1$$

(7) 输入变量的每一组取值都使 1 个对应的最大项的值为"0",其余最大项的值为"1",即所谓 $N(2^n)$中取 1 个"0"。以 2 变量为例:

A	B	M_3	M_2	M_1	M_0
0	0	0	1	1	1
0	1	1	0	1	1
1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	0

例如,当 $AB = 01$ 时,$m_1 = \overline{A}B = 1$,其他最小项为"0";$M_2 = A + \overline{B}$,其他最大项为"1"。

(8) 最小项的性质和最大项的性质之间具有对偶性。例如全部最大项之积恒等于

“0”,与全部最小项之和恒等于“1”是对偶的。其他性质可类推。

1.2.6 逻辑函数的表示方法

在逻辑电路中,如果输入变量 $X_1, X_2, \cdots, X_n \in \{0,1\}$,则共有 2^n 种取值可能,对于其中的若干种取值时,其输出变量 $F \in \{0,1\}$ 就有一个对应的确定值,我们把这种对应关系称为逻辑函数。

逻辑函数的表示方法主要有 4 种:真值表、逻辑表达式(逻辑函数式)、逻辑图和卡诺图。

(1) 真值表是将输入变量的各种取值与其相应的输出值一一对应列表。

(2) 逻辑表达式是由逻辑变量和逻辑运算符所组成的表达式。逻辑式表达有多种形式:与或式、或与式、与非与非式、或非或非式、与或非式,这 5 种逻辑表达式可以在相同的逻辑关系下转换,即同一种逻辑关系可以表达为以上 5 种形式。

逻辑函数的标准型:同一逻辑关系有多种表达形式。

与或标准型定义为

$$F = \sum m_i$$

或与标准型定义为

$$F = \prod M_I$$

(3) 逻辑图是用逻辑符号及其互连关系来表示一定逻辑关系的电路图。

(4) 卡诺图是真值表的图形化。它是将输入变量分成 2 组而构成的平面图表,共有 2^n 个最小项,每个最小项占 1 个小格,最小项之间按邻接原则排列。

真值表、逻辑表达式、逻辑图和卡诺图之间可以互相转换,知道其中的 1 个就可以推出另外 3 个。

1.2.7 逻辑函数的化简

在逻辑运算中,有些逻辑函数往往不是以最简形式给出的,这既不利于判断这些逻辑函数的因果关系,也不利于用最少的电子器件来实现这些逻辑函数,因而有必要对这些逻辑函数进行化简。化简方法有代数法和卡诺图法 2 种。

一、代数法化简逻辑函数

所谓最简的与或式就是在包括函数所有最小项的前提下,乘积项最少,而且每个乘积项中变量的个数也最少。

(1) 合并法:就是利用公式 $AB + A\bar{B} = A$,将 2 项合并为 1 项,合并时消去 1 个变量。

(2) 吸收法:就是利用公式 $A + AB = A$,消去多余的乘积项。

(3) 消去法:就是利用公式 $A + \bar{A}B = A + B$,消去多余的变量。

(4) 配项法:将逻辑函数乘以$(A + \bar{A})$,以获得新的项,便于重新组合,或利用公式 $AB + \bar{A}C = AB + \bar{A}C + BC$,为原逻辑函数的某一项配上 1 项,有利于函数的重新组合和化简。

代数法化简逻辑函数要求熟练掌握逻辑代数的基本公式和定理,而且需要一些技巧和经验,特别是经代数法化简后得到的逻辑表达式是否是最简式有时较难判断。

二、卡诺图法化简逻辑函数（卡诺图化简法）

卡诺图化简法能直接获得最简表达式，简单、直观，有一定的化简步骤，但变量数超过6个时，卡诺图化简也难于进行。卡诺图的特点是：凡是几何位置相邻的最小项，在逻辑上也一定相邻。据此，在卡诺图上找到具有相邻性的最小项，并将其合并，消去不同的因子，这就是卡诺图化简法的依据。

由于卡诺图中的小格是一个个最小项，且按邻接关系排列，因此，2个最小项中只有1个变量是互补的，其余变量都是相同的，可以合并成1项，就可以消去1个变量。2变量、3变量和4变量卡诺图如图1.1所示。

A \ B	0	1
0	00	01
1	10	11

(*a*)

A \ BC	00	01	11	10
0	000	001	011	010
1	100	101	111	110

(*b*)

AB \ CD	00	01	11	10
00	0000	0001	0011	0010
01	0100	0101	0111	0110
11	1100	1101	1111	1110
10	1000	1001	1011	1010

(*c*)

图1.1　卡诺图的构成

(*a*) 2变量卡诺图；(*b*) 3变量卡诺图；(*c*) 4变量卡诺图。

1. 与或型逻辑函数如何添入卡诺图

与或型逻辑函数可以直接填入卡诺图，对于其他形式的逻辑函数可以变换为与或型再填入卡诺图。填入方法有2种：第1种方法是将逻辑函数变换为与或标准型，存在的最小项，在对应的卡诺图小格中填“1”，不存在的最小项填“0”，当然“0”也可以不填；第2种方法是直接将与项填入，例如：将具有4个变量的逻辑函数中的与项 $\bar{A}BD$、$B\bar{C}$、$\bar{A}B$、B、$\overline{BD}$ 和 BD 填入卡诺图。

对于与项 $\bar{A}BD$，因行上的变量没有消去，所以应填入01行；列上的变量消去1个，所以应填入01和11列，即第2列和第3列，如图1.2(*a*)所示。

对于与项 $B\bar{C}$，因行和列上的变量各消去1个，所以应填入01和11行；列上的变量消去1个，应填入00列和01列，即第2行、第3行和第1列、第2列，如图1.2(*b*)所示。

对于与项 $\bar{A}B$，因行上的变量没有消去，所以应填入01行；列上的变量消去2个，所以应占全部4列，填入01行，即第2行，如图1.2(*c*)所示。

对于与项 B，因行上的变量消去1个，所以应填入01和11行；列上的变量消去2个，所以应填入全部4列，即第2行和第3行以及全部4列，如图1.2(*d*)所示。

对于与项 $\overline{BD}$，因行上和列上的变量各消去1个，所以应占2行2列，应填入00和10行及00和10列，即第1行和第4行、第1列和第4列，如图1.2(*e*)所示。

对于与项 BD，因行上和列上的变量各消去1个，所以应占2行2列，应填入01和11行及01和11列，即第2行和第3行、第2列和第3列，如图1.2(*f*)所示。与项 $\overline{BD}$

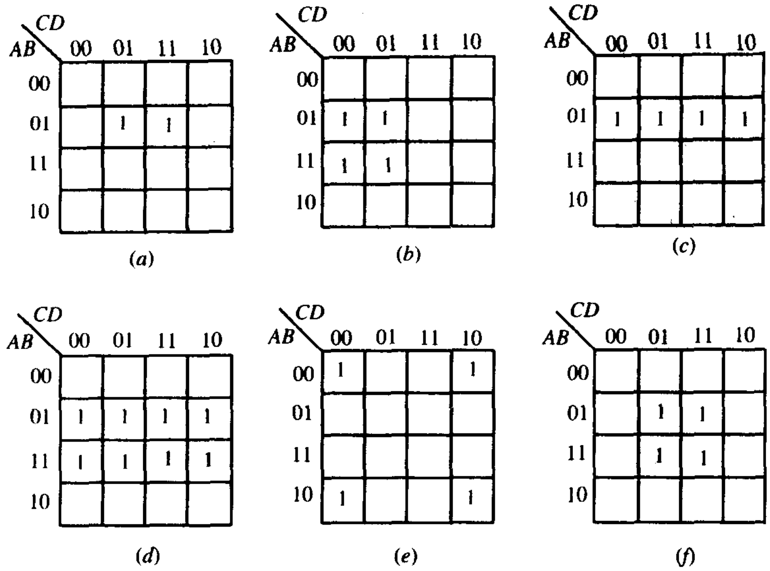

图 1.2　与项填入卡诺图

和与项 BD 在卡诺图中的位置是互补对称的，即第 1 行翻转到第 2 行，第 4 行翻转到第 3 行，余类推。

2. 卡诺图化简法

利用卡诺图进行化简，逻辑函数遵循的基本原则是：$AB + A\bar{B} = A$，即相邻的最小项可以合并，消去 1 个变量，使函数更简。其合并的规律为：2 个相邻的最小项合并，消去 1 个变量；4 个相邻的最小项合并，消去 2 个变量；8 个相邻的最小项合并，消去 3 个变量……最小项数必须满足 2^n，且最小项必须排成矩形带。

在卡诺图中圈定的与项称为蕴涵项，也称为乘积项。在重新划圈组合与项时，应遵循的原则如下：

(1) 应该尽可能多的按 2^n 的数量圈进带“1”的最小项，并构成矩形带；

(2) 组成函数的全部最小项都必须被圈到；

(3) 每个蕴涵项中至少有 1 个最小项没有被其他蕴涵项所覆盖。

如果逻辑函数中含有约束项，应注意：

约束项是具有某种制约关系的最小项。利用约束项受制约的关系，可以假设这些最小项不会被输入，故在合并时，根据化简的需要，可以任意设定这些约束项的值为“0”或“1”，从而使函数更简单。通常在表达式中用 $\sum d$ 表示约束项之和，而在卡诺图中用“ϕ”或“×”表示约束项。在用卡诺图化简具有约束项的逻辑函数时，应遵循的原则如下：

(1) 画出函数 F 的卡诺图，将最小项和约束项填入图中相应的位置；

(2) 合并相邻的最小项，根据约束项的值可以是“0”也可以是“1”，尽量将蕴涵项圈画得大，画得少，画入蕴涵项中的约束项当作“1”处理，没有画入蕴涵项的约束项当作“0”处理；

(3) 卡诺图中的小格，可能填“1”、“0”或“×”，只要给出其中的 2 种，即可。