面向21世纪课程教材专用辅导

Textbook Series for 21st Century

电子技术基础同步辅导

数字部分

主编 中国科学院 徐海军
清华大学 胡越山

配套教材 《数字电子技术基础》 第四版 阎石 主编
《电子技术基础》（数字部分） 第四版 康华光 主编

航空工业出版社

电子技术基础同步辅导
数字部分

主编　中国科学院　徐海军
　　　清 华 大 学　胡越山

航空工业出版社

图书在版编目（CIP）数据

电子技术基础同步辅导/徐海军等主编．—北京：航空工业出版社，2004.9
ISBN 7-80183-451-8

Ⅰ．电… Ⅱ．徐… Ⅲ．电子技术—自学参考资料
Ⅳ．TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 084266 号

电子技术基础同步辅导（数字部分）
Dian Zi Ji Shu Ji Chu Tong Bu Fu Dao(Shu Zi Bu Fen)

航空工业出版社出版发行
（北京市安定门外小关东里 14 号 100029）
发行电话：010－64978486 010－84926529

北京嘉羽印刷厂印刷 全国各地新华书店经售
2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷
开本：787×960 毫米 1/16 印张：53 字数：1065 千字
印数：1－5000 全二册定价：53.00 元

前　言

本书根据国家教育部对高等院校电子技术基础课程的教学要求，由中国科学院与清华大学的教师联合编写而成，编写中主要以阎石先生主编的《数字电子技术基础》为蓝本。完全可以满足高等院校自动化、电子技术、计算机应用及其它相关专业对电子技术基础的教学要求，也可以作为这些专业学生平时学习的指导书或硕士研究生入学考试的参考书。

本书具有以下主体内容：

一、基本要求：让学生更加明确各个章节的知识点需要掌握的程度；

二、知识点网络图：描述本章内容的点、线、面逻辑网络图，是学习和复习的主线；

三、内容提要：是教材知识点浓缩的精华，让学生更加深入地把握该章的重难点内容；

四、经典例题解析：主要从历届名校考研试题、经典教材习题、本科生课程结业考试题中精心筛选、认真编写，例题具有典型性、代表性、实用性；

五、本章小结：把本章内容和关联章节相互联系起来，同时回顾本章的一些重难点内容；

六、单元自测题及答案：让学生通过自测题来检验知识的掌握程度；

七、教材同步习题解答：给出配套教材（《数字电子技术基础》阎石主编）课后习题较为详细的解题答案或解题提示。

本书编写过程得到清华大学自动控制系多位教授的指点，并在百忙中审阅了全稿，在此表示感谢。

编者

2004 年 8 月于北京中国科学院

目　录

第一章　逻辑代数基础

一、基本要求

1. 掌握常用数制（十进制、二进制、十六进制）之间的相互转换。
2. 了解常用码制（8421BCD 码、余三码、循环码）。
3. 理解逻辑代数中的三种基本运算，逻辑与、或、非及其含义。
4. 了解逻辑函数及其表示方法，基本逻辑运算，逻辑函数。
5. 了解逻辑代数的基本公式、常用公式、基本定理。
6. 掌握逻辑代数的公式化简法，化简的意义和最简的概念，公式法化简。
7. 掌握逻辑代数的卡诺图化简法，最小项及最小项表达式，卡诺图化简法，具有无关项的逻辑函数化简。

二、知识点框图

- 1. 数字电路的基本概念
  - 数字量和模拟量
    - 模拟信号
    - 数字信号
  - 数制和码制
    - 数制表示法
    - 数制转换
    - 二—十进制码
- 2. 逻辑代数中的三种基本运算
  - 与运算
  - 或运算
  - 非运算
- 3. 逻辑代数的基本公式和常用公式
  - 基本公式
  - 若干常用公式
    - 与非
    - 或非
    - 异或
- 4. 逻辑代数的基本定理
  - 代入定理
  - 反演定理
  - 对偶定理
- 5. 逻辑函数及其表示方法
  - 逻辑函数
  - 逻辑函数的表示方法
  - 逻辑函数的两种标准形式
- 6. 逻辑函数的公式化简法
  - 逻辑函数式的常见形式
  - 最简与—或表达式的标准
  - 常用的化简方法
- 7. 逻辑函数的卡诺图化简法
  - 卡诺图
    - 卡诺图的结构
    - 卡诺图的相邻性
  - 用卡诺图表示逻辑函数
  - 逻辑函数的卡诺图化简法
- 8. 具有无关项的逻辑函数及其化简
  - 无关项
  - 具有无关项的逻辑函数的化简

三、内容提要

1. 数字电路的基本概念

(1) 数字量和模拟量

① 模拟信号和数字信号

模拟信号——时间连续、数值也连续的信号。

数字信号——时间上和数值上均是离散的信号。

数字信号常用数字 0 和 1 来表示,称为逻辑 0 和逻辑 1,也称为二值数字逻辑。

(2) 数制和码制

① 数制表示法

A. 十进制(Decimal)

B. 二进制(Binary)

C. 八进制(Octal)

D. 十六进制(Hexadecimal)

② 数制转换

A. 二进制转换成十进制

转换时只要将二进制数按照 $D=\sum k_i 2^i$ 展开,然后把所有各项的数值按十进制数相加,就可以得到等值的十进制数了。

B. 十进制转换成二进制

(a) 用“除 2 取余”法将十进制的整数部分转换成二进制。

(b) 用“乘 2 取整”的方法将任何十进制数的纯小数部分转换成二进制数。

C. 二进制转换成十六进制

用“4 位分组”法将二进制数化为十六进制数。

D. 二进制转换成八进制

将二进制数分为 3 位一组,再将每组的 3 位二进制数转换成一位 8 进制数。

E. 十六进制转换成二进制

将每一位变成 4 位二进制数,按位的高低依次排列。

F. 八进制数转换成二进制数

将每一位变成 3 位二进制数,按位的高低依次排列。

G. 十六进制转换成十进制

由“按权相加”法将十六进制数转换为十进制数。

③ 二一十进制码

A. BCD 码——用二进制代码来表示十进制的 0～9 十个数。

常用的 BCD 码见表 1.3.1。

表 1.3.1　常用 BCD 码

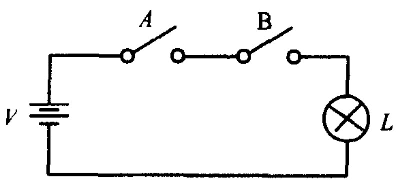
十进制数 \ 编码种类	8421 码	2421 码	5421 码	余三循环码
0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 1 1
1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 1 0 0
2	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 1 0 1
3	0 0 1 1	0 0 1 1	0 0 1 1	0 1 1 0
4	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 1 1
5	0 1 0 1	1 0 1 1	1 0 0 0	1 0 0 0
6	0 1 1 0	1 1 0 0	1 0 0 1	1 0 0 1
7	0 1 1 1	1 1 0 1	1 0 1 0	1 0 1 0
8	1 0 0 0	1 1 1 0	1 0 1 1	1 0 1 1
9	1 0 0 1	1 1 1 1	1 1 0 0	1 1 0 0
权	8 4 2 1 $b_3 b_2 b_1 b_0$	2 4 2 1 $b_3 b_2 b_1 b_0$	5 4 2 1 $b_3 b_2 b_1 b_0$	无权

【注意】 BCD 码用 4 位二进制码表示的只是十进制数的一位。

2. 逻辑代数中的三种基本运算

(1) 与运算

① 定义：只有当决定一个事件的条件全部具备之后，这个事件才会发生。



(a) 电路图

A	B	灯 L
不闭合	不闭合	不亮
不闭合	闭合	不亮
闭合	不闭合	不亮
闭合	闭合	亮

(b) 真值表

图 1.3.1　与逻辑运算

② 表示方法

A. 用逻辑真值表表示。

表 1.3.2　与逻辑运算的真值表

A	B	L
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

设 1 表示开关闭合或灯亮;0 表示开关不闭合或灯不亮,得到如表 1.3.2 所示的逻辑真值表。

B. 逻辑表达式 $L=A\cdot B$

③ 与运算的规则为:“输入有 0,输出为 0;输入全 1,输出为 1”。

④ 与逻辑符号

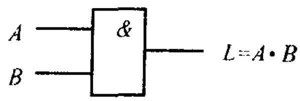
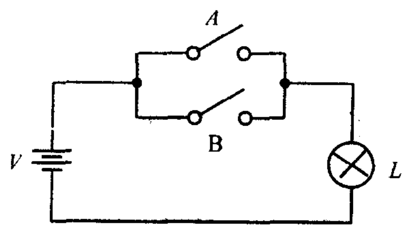


图 1.3.2　与逻辑符号

(2) 或运算

① 定义:当决定一个事件的几个条件中,只要有一个或一个以上条件具备,这个事件就会发生。



(a)

开关A	开关B	灯L
不闭合	不闭合	不亮
不闭合	闭合	亮
闭合	不闭合	亮
闭合	闭合	亮

(b)

图 1.3.3　或逻辑运算

② 表示方法

A. 逻辑真值表如表 1.3.3 所示。

表 1.3.3　真值表

A	B	L=A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

B. 逻辑表达式 $L=A+B$

③ 或运算的规则为:“输入全 0,输出为 0;输入有 1,输出为 1”。

④ 逻辑符号

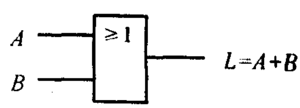
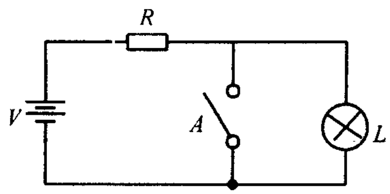


图 1.3.4　逻辑符号

(3) 非运算

① 定义:条件具备时事件不发生;条件不具备时事件才发生。

例:如图 1.3.5(a)所示的电路,当开关 A 闭合时,灯不亮;而当 A 不闭合时,灯亮。真值表如图 1.3.5(b)所示



(a)

开关 A	灯 L
不闭合	亮
闭合	不亮

(b)

图 1.3.5 非逻辑运算

② 表示方法

A. 逻辑真值表如表 1.3.4 所示。

表 1.3.4 非逻辑的真值表

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

B. 逻辑表达式 $L=\overline{A}$

③ 非运算的规则

$$\overline{0}=1;\quad \overline{1}=0$$

④ 非门电路逻辑符号

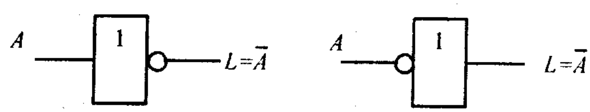


图 1.3.6 非逻辑符号

3. 逻辑代数的基本公式和常用公式

(1) 基本公式

表 1.3.5 逻辑代数的基本公式

名称	公式 1	公式 2
0—1 律	$A\cdot 1=1$ $A\cdot 0=0$	$A+0=A$ $A+1=1$
互补律	$A\overline{A}=0$	$A+\overline{A}=1$
重叠律	$AA=A$	$A+A=A$
交换律	$AB=BA$	$A+B=B+A$

名称	公式 1	公式 2
结合律	$A(BC)=(AB)C$	$A+(B+C)=(A+B)+C$
分配律	$A(B+C)=AB+AC$	$A+BC=(A+B)(A+C)$
反演律	$\overline{AB}=\overline{A}+\overline{B}$	$\overline{A+B}=\overline{A}\ \overline{B}$
吸收律	$A(A+B)=A$ $A(\overline{A}+B)=AB$ $(A+B)(\overline{A}+C)(B+C)=(A+B)(\overline{A}+C)$	$A+AB=A$ $A+\overline{A}B=A+B$ $AB+\overline{A}C+BC=AB+\overline{A}C$
对偶律	$\overline{\overline{A}}=A$	$AB=\overline{\overline{A}+\overline{B}}$　$A+B=\overline{\overline{A}\cdot\overline{B}}$

(2) 若干常用公式

① 与非

与非是由与运算和非运算组合而成的逻辑运算(表 1.3.6)。

表 1.3.6　与非逻辑的真值表

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

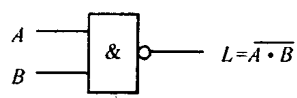


图 1.3.7　与非逻辑符号

② 或非

或非是由或运算和非运算组合而成的逻辑运算。

表 1.3.7　或非逻辑的真值表

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

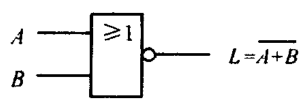


图 1.3.8　或非逻辑符号

③ 异或

当两个变量取值相同时,逻辑函数值为 0;当两个变量取值不同时,逻辑函数值为 1。

表 1.3.8　异或逻辑的真值表

A	B	$L=A\oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

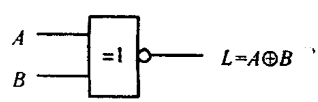


图 1.3.9　异或逻辑符号

4. 逻辑代数的基本定理

(1) 代入定理

在任何一个包含变量 A 的逻辑等式中，若以另外一个逻辑式代入式中所有 A 的位置，则等式仍然成立。这就是所谓代入定理。

(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 $\overline{Y}$。这叫做反演定理。

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”的运算优先次序。

② 不属于单个变量上的反号应保留不变。

(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。

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。

5. 逻辑函数及其表示方法

(1) 逻辑函数的建立

① 定义：一般地说，若输入逻辑变量 A、B、C…的取值确定以后，输出逻辑变量 F 的值也唯一地确定了，就称 F 是 A、B、C…的逻辑函数，写作：

$$F=f(A,B,C\cdots)$$

A、B、C 常称为输入逻辑变量，F 称为输出逻辑变量。

② 特点

A. 逻辑变量和逻辑函数只能采用二值逻辑，即 0，1。

B. 函数关系是由“与”、“或”、“非”三种基本运算所决定的。

(2) 逻辑函数的表示方法

① 逻辑真值表

将输入变量在所有的取值下对应的输出值找出来，列成表格，即可得到真值表。

② 逻辑函数式

逻辑函数式就是由逻辑变量和“与”、“或”、“非”三种运算符所构成的表达式。

③ 逻辑图

将逻辑函数中各变量之间的与、或、非等逻辑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。

④ 各种表示方法间的互相转换

A. 从真值表写出逻辑函数表达式的方法

(a) 在真值表中依次找出函数值等于 1 的变量组合,变量值为 1 的写成原变量,变量值为 0 的写成反变量。

(b) 把组合中各个变量相乘。

(c) 把乘积项相加,得到相应的逻辑函数表达式。

B. 从逻辑表达式列出真值表

将输入变量取值的所有组合状态逐一代入逻辑式求出函数值,列成表,即可得到真值表。

C. 从逻辑表达式画出逻辑图

用图形符号代替逻辑式中运算符号,就可以画出逻辑图了。

D. 从逻辑图写出逻辑式

从输入端到输出端逐级写出每个图形符号对应的逻辑式,就可以得到对应的逻辑函数式了。

(3) 逻辑函数的两种标准形式

① 最小项和最大项

A. 最小项

(a) 定义

在 n 变量逻辑函数中,若 m 为包含 n 个因子的乘积项,而且这 n 个变量均以原变量或反变量的形式在 m 中出现一次,则称 m 为该组变量的最小项。

如三变量逻辑函数 $L=f(A,B,C)$ 的最小项共有 $2^3=8$ 个,如表 1.5.1。

表 1.3.9 三变量逻辑函数的最小项及编号

最小项	使最小项为 1 的变量取值 $A\ B\ C$	编号
$\bar{A}\ \bar{B}\ \bar{C}$	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
$\bar{A}\ B\ C$	0 1 1	m_3
$A\ \bar{B}\ \bar{C}$	1 0 0	m_4
$A\ \bar{B}\ C$	1 0 1	m_5
$A\ B\ \bar{C}$	1 1 0	m_6
$A\ B\ C$	1 1 1	m_7

(b) 最小项的基本性质

以三变量为例说明最小项的性质,真值表如表 1.3.10 所示。

表 1.3.10　三变量全部最小项的真值表

变量	m_0	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	m_7
$A\ B\ C$	$\bar{A}\bar{B}\bar{C}$	$\bar{A}\bar{B}C$	$\bar{A}B\bar{C}$	$\bar{A}BC$	$A\bar{B}\bar{C}$	$A\bar{B}C$	$AB\bar{C}$	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 1.3.10 中可以看出最小项具有以下几个性质：

1）在输入变量的任何取值下必有一个最小项，而且仅有一个最小项的值为 1。

2）全体最小项之和为 1。

3）任意两个最小项的乘积为 0。

4）具有相邻性的两个最小项之和可以合并成一项并消去一对因子。

B. 最大项

(a) 定义：

在 n 变量逻辑函数中，若 M 为 n 个变量之和，而且这 n 个变量均以原变量或反变量的形式在 M 中出现一次，则称 M 为该组变量的最大项。

三变量逻辑函数 $L=f(A,B,C)$ 的最大项共有 $2^3=8$ 个，如表 1.3.11 所示。

表 1.3.11　三变量最大项的编号表

最大项	使最大项为 0 的变量取值			对应的十进制数	编号
	A	B	C		
$A+B+C$	0	0	0	0	M_0
$A+B+\bar{C}$	0	0	1	1	M_1
$A+\bar{B}+C$	0	1	0	2	M_2
$A+\bar{B}+\bar{C}$	0	1	1	3	M_3
$\bar{A}+B+C$	1	0	0	4	M_4
$\bar{A}+B+\bar{C}$	1	0	1	5	M_5
$\bar{A}+\bar{B}+C$	1	1	0	6	M_6
$\bar{A}+\bar{B}+\bar{C}$	1	1	1	7	M_7

(b) 性质

1) 在输入变量的任何取值下必有一个最大项,而且只有一个最大项的值为0;

2) 全体最大项之积为0;

3) 任意两个最大项之和为1;

4) 只有一个变量不同的两个最大项的乘积等于各相同变量之和

② 逻辑函数的最小项之和的形式

将逻辑函数表达式转换为一组最小项之和,称为最小项表达式。

③ 逻辑函数的最大项之积的形式

任何一个逻辑函数都可化成最大项之积的标准形式。

6. 逻辑函数的公式化简法

(1) 逻辑函数式的常见形式

$$L=AC+\overline{A}B \qquad \text{与一或逻辑式}$$

$$=\overline{\overline{AC}\cdot\overline{\overline{A}B}} \qquad \text{与非一与非逻辑式}$$

其中,与一或表达式是逻辑函数的最基本表达形式。

(2) 最简与一或表达式的标准

① 子项个数最少,即表达式中"+"号最少。

② 每个与项中的变量数最少,即表达式中"·"号最少。

(3) 常用的化简方法

(1) 并项法。运用公式 $A+\overline{A}=1$,将两项合并为一项,消去一个变量。如

$$L=AB\overline{C}+ABC=AB(\overline{C}+C)=AB$$

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

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

② 吸收法。运用吸收律 $A+AB=A$ 消去多余的与项。如

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

③ 消因子法。运用吸收律 $A+\overline{A}B=A+B$ 消去多余的因子。如消因子法

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

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

(4) 消项法。利用表1.3.1中的公式 $AB+\overline{A}C+BC=AB+\overline{AC}$ 及 $AB+\overline{A}C+BCD=AB+\overline{A}C$ 将 BC 或 BCD 消去。其中 A、B、C、D 都可以是任何复杂的逻辑式。

(5) 配项法。先通过乘以 $A+\overline{A}(=1)$ 或加上 $A\overline{A}(=0)$,增加必要的乘积项,再用以上方法化简。如

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

$$=AB+\overline{A}C+ABCD+\overline{A}BCD=AB+\overline{A}C$$

$$L=AB\overline{C}+\overline{ABC}\cdot\overline{AB}=AB\overline{C}+\overline{ABC}\cdot\overline{AB}+AB\cdot\overline{AB}$$