高等学校应用型系列规划教材
GAODENGXUEXIAO YINGYONGXING XILIEGUIHUAJIAOCAI

数字电路逻辑与设计

SHUZIDIANLU LUOJI YU SHEJI

许莉娅　主编

北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

数字电路与逻辑设计

许莉娅　主编
周红锴　杜月云　副主编

北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

数字电路与逻辑设计是计算机专业和电子信息类专业的一门重要硬件基础课，其理论性和实践性很强，尤其强调工程应用。本书以集成电路应用为重点，把握理论必须够用为度的原则，强化学生的动手操作能力。本书共8章，内容包括逻辑函数的化简、集成门电路、集成电路触发器、组合逻辑电路、时序逻辑电路、数模和模数转换、存储器、课程设计与应用实例等。

本书可作为本科和高等职业院校、高等专科院校、成人高校等院校的相关专业教学用书，也可作为从事电子技术工作的技术人员及电子技术爱好者的参考书，还可作为计算机和电子等相关专业自学考试的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电路与逻辑设计/许莉娅主编. —北京：北京理工大学出版社，2006.2

ISBN 7-5640-0702-8

I.数… II.许… III.数字电路-逻辑设计 IV.TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 004377 号

出版发行/北京理工大学出版社
社　　址/北京市海淀区中关村南大街 5 号
邮　　编/100081
电　　话/(010)68914775(办公室)　68944990(批销中心)　68911084(读者服务部)
网　　址/http://www.bitpress.com.cn
电子邮箱/chiefeditor@bitpress.com.cn
经　　销/全国各地新华书店
印　　刷/北京市业和印务有限公司
开　　本/787 毫米×1092 毫米　1/16
印　　张/18.75
字　　数/383 千字
版　　次/2006 年 2 月第 1 版　2006 年 2 月第 1 次印刷
定　　价/28.00 元

前　言

本书是面向应用型本科和高职高专学生的教材，是应用型本科和高职高专计算机和电子、通信等专业的专业基础课。本书中的基本理论与实践技能，是包括自动控制、数字信号处理、计算器组成原理、计算机系统结构、微机与接口技术、通信系统等在内的后续许多专业课程的学习基础。

本书强调理论与实践相结合，关注各种数字电路器件的外部特点，通过实例熟悉器件在数字电路系统中的应用，对器件内部结构与原理不做太多阐述。例如触发器、编码器、译码器、计数器、寄存器等常用数字器件，在了解基本功能的原理后，重点是对外部特性和功能的熟悉。本书以集成电路的应用为重点，加强实践环节的训练，包括多个实训模块，在训练学生理论与实践相结合能力的同时，能够进一步提高学生的动手操作技能，激发学习兴趣，熟悉当前章节中所讲解的内容及其具体应用。

本书共 8 章：第 1 章　逻辑代数和逻辑函数的化简；第 2 章　集成门电路；第 3 章　集成电路触发器；第 4 章　组合逻辑电路；第 5 章　时序逻辑电路；第 6 章　数模和模数转换；第 7 章　存储器；第 8 章　课程设计与应用实例。本书安排 6 个实训项目，分别在各章的最后，便于学生理解本章知识的应用；3 个课程设计和 3 个应用实例介绍放在最后一章，为综合运用数字电路知识提供范例，可供不同专业的学生选学。

本书的总学时数为 80 学时左右，其中理论约占 51 学时，实训和实验约占 29 学时。不同的学校和专业可以根据自己的实际情况适当调节总学时和理论与实践的比例。

本书内容编写由 5 人完成，具体参加人员和承担的内容为：泉州黎明职业大学的许莉娅编写第 1、2、8 章；河南商丘职业技术学院的杜月云编写第 3 章，提供一个课程设计的材料；桂林工学院南宁分院的周红锴编写第 4、7 章，提供一个课程设计的材料；；北京信息职业技术学院的万忠编写第 5 章；无锡职业技术学院的戴新敏编写第 6 章。全书由许莉娅进行总体策划和统稿。在编写的过程中，黎明职业大学的叶鸿基老师给与大力的支持和帮助，张明洋、陈金佳、刘怀望老师提供了实训和课程设计的部分材料，刘艳红老师编辑了部分图形，在此向这些老师表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请广大读者指正。

编　者

2005 年 10 月

于泉州黎明职业大学

目　录

第 1 章 逻辑代数和逻辑函数的化简

本章内容：

本章介绍了逻辑和逻辑变量的概念；逻辑函数的建立方法；逻辑函数的运算及规则；逻辑函数的化简方法—卡诺图法、代数法；逻辑函数的几种表示方法及其相互转换关系；逻辑函数表达式的形式。

逻辑代数是由哲学领域中的逻辑学发展而来的。1849 年，英国数学家 G·Boole 提出用数学分析方法表示命题陈述的逻辑结构，并成功地将形式逻辑归结为一种逻辑演算，从而诞生了“布尔代数”。1938 年 Shannon 又把它发展成适合于分析开关电路的形式，又称布尔代数、开关代数、逻辑代数。开关电路也就是数字电路。本课程重点介绍布尔代数在数字电路中的应用。

这一章主要介绍逻辑变量及其构成的逻辑函数基本运算规律和规则，逻辑函数的表示方式和化简方法。

1.1 逻辑变量及其基本运算

1.1.1 逻辑变量

逻辑就是事物的因果关系。

一个事件能否发生作为逻辑的结果，那么影响这个结果的各个原因就是逻辑的因，这种因果关系就是逻辑关系。

例如，在电路中，电灯亮与不亮是结果，那么原因有三个：是否有适当的电源、能否构成闭合电路、灯是好的还是坏的。我们用 Y 表示结果，分别用 A、B、C 表示原因，称 Y、A、B、C 为逻辑变量，其中 A、B、C 是自变量，Y 是因变量或逻辑函数，由此可见：

将事件中的原因和结果用符号表示，这些代表一定意义的符号就是逻辑变量符号，简称逻辑变量。逻辑函数就是 n 个变量进行运算后的结果。

在上例中，如果灯亮用 1 表示，不亮用 0 表示；条件满足，用 1 表示，条件不满足用 0 表示，则逻辑变量 Y、A、B、C 的取值只有两种情况：0、1。这是逻辑变量与一般其他变量不同之处。

1.1.2 基本逻辑运算

由于客观事件是多种多样的，逻辑关系也是很复杂的，逻辑变量之间的运算可以很复杂，但是任何复杂的逻辑运算都是由三种基本逻辑运算构成，它们是：“与”运算、“或”运算、“非”运算。

1. 与运算

与运算也称与逻辑。与逻辑的含义是：决定一个事件能否发生的条件有多个，当这些条件同时具备时，事件才会发生，这种因果关系称为与逻辑关系。写成逻辑运算式为：

$Y=A \cdot B \cdot C \cdot \cdots$

与逻辑也称逻辑乘。上式简称与逻辑式。Y称输出，A、B、C称输入。

例如，图 1-1(a)所示的电路中，有两个开关 A、B 控制一个灯 Y，因为两个开关是串联的，只有开关都闭合，灯才会亮，也就是说只有这两个条件都满足，灯亮的结果才会发生，所以，是与逻辑关系。它的逻辑表达式是：

$Y=A \cdot B$

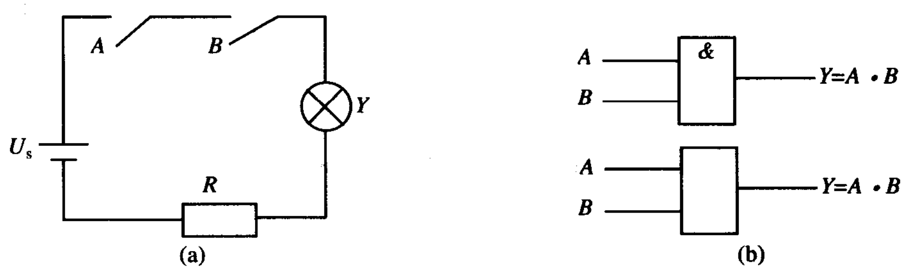


图 1-1 与运算示意图

如果设灯亮为 1，灯不亮为 0；开关合上为 1，开关打开为 0，列出 0、1 的表格如表 1.1 所示，我们把这种输入变量的所有取值组合与其对应的输出变量取值相对应关系的表格叫逻辑真值表，简称真值表。从真值表可以清楚地看出逻辑关系，所以，真值表和逻辑式一样，能够表示出逻辑关系来。

表 1.1 $Y=A \cdot B$的与逻辑真值表

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

从真值表看出，输入有 0，则输出为 0，输入全 1，输出才 1。简单说：有 0 则 0，全 1 则 1。这是与逻辑关系，也是从真值表看逻辑关系的最简单最有效的方法。在以后的电路逻辑分析中经常会用到这个结论。

与运算的运算法则为：

$0 \cdot 0=0$　　　$0 \cdot 1=0$　　　$1 \cdot 0=0$　　　$1 \cdot 1=1$

在数字系统中，实现与运算的电路称为与门，与门电路是多种多样的，在第二章会学习到，与门电路的逻辑符号见图 1-1(b)所示。

2. 或运算

或运算也称或逻辑。或逻辑的含义是：决定一个事件能否发生的条件有多个，只要具备一个条件，事件就会发生，这种因果关系称为或逻辑关系。写成逻辑运算式为：

$Y=A+B+\cdots$

或逻辑也称逻辑加。上式称或逻辑式。

如图 1-2(a)所示，有两个开关 A、B 控制一个灯 Y，因为两个开关是并联的，只要有一个开关闭合，灯就会亮，即只要有一个条件满足，结果就会发生，这是一个或逻辑，写成逻辑表达式为：

$Y=A+B$

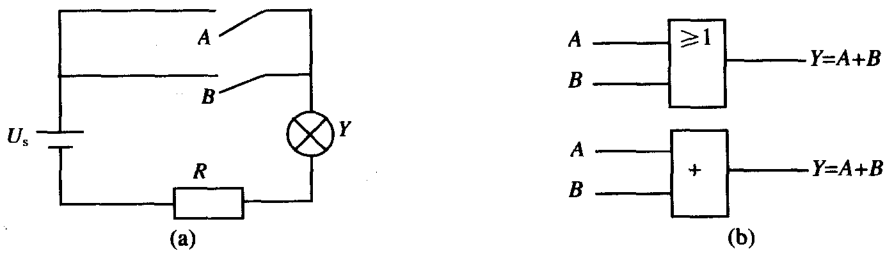


图 1-2　或运算示意图

如果设灯亮为 1，灯不亮为 0；开关合上为 1，开关打开为 0，列出 0、1 的表格如表 1.2 所示，称这样的表格为或逻辑真值表，从真值表可以清楚地看出逻辑关系，所以，真值表和逻辑式一样，能够表示出逻辑关系来。

表 1.2　$Y=A+B$ 的或逻辑真值表

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

从真值表看出，输入有 1，输出为 1，输入全 0，输出为 0，简单说：有 1 则 1，全 0 则 0，这是或逻辑的逻辑关系。也是从真值表看逻辑关系的最简单最有效的方法。

或运算的运算法则为：

0+0=0　　　0+1=1　　　1+0=1　　　1+1=1

实现或运算的电路称为或门，或门的逻辑符号见图 1-2(b)所示。

3. 非运算

非运算也称逻辑非或逻辑反。逻辑非的含义是：决定某一事件发生的条件具备，结果却不发生，而条件不具备是，结果一定发生。这样的逻辑关系称逻辑非(或逻辑反)。写成逻辑式为：

$$Y=\bar{A}$$

如图 1-3(a)所示，开关闭合，灯却不亮，开关断开，灯才亮。因此，灯 Y 与开关 A 之间的关系为逻辑非关系。

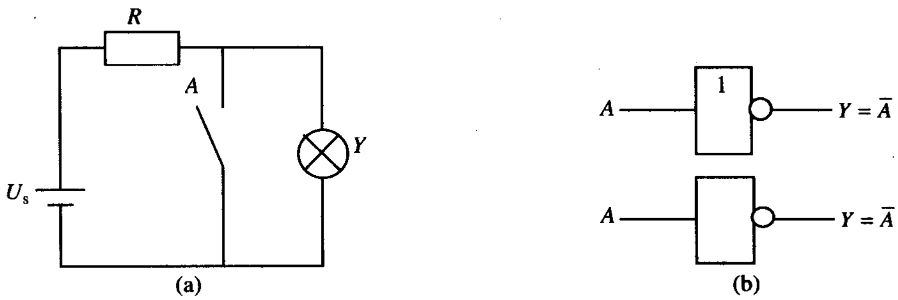


图 1-3　非运算示意图

设灯亮为 1，不亮为 0，开关闭合为 1，开关断开为 0，列出非逻辑真值表如表 1.3 所示

表 1.3　$Y=\bar{A}$ 的非逻辑真值表

A	Y
0	1
1	0

从真值表看出，入 0 出 1，入 1 出 0，这是非逻辑的逻辑关系。

非运算的运算法则为：　$\bar{0}=1$　　$\bar{1}=0$

实现非运算的电路称为非门，非门的逻辑符号见图 1-3(b)所示。

除了三个基本逻辑门(与门、或门、非门)以外，还有一些复合门：实现与非运算的与非门；实现或非运算的或非门；实现运算顺序是与-或-非的与或非门；异或门；同或门(是

异或的非)。综上所述，逻辑门电路是指能够实现基本逻辑功能的电路，简称门电路。

4. 几种常用的逻辑运算

(1) 与非逻辑　$Y=\overline{A\cdot B}$　判断方法：有 0 则 1，全 1 则 0。

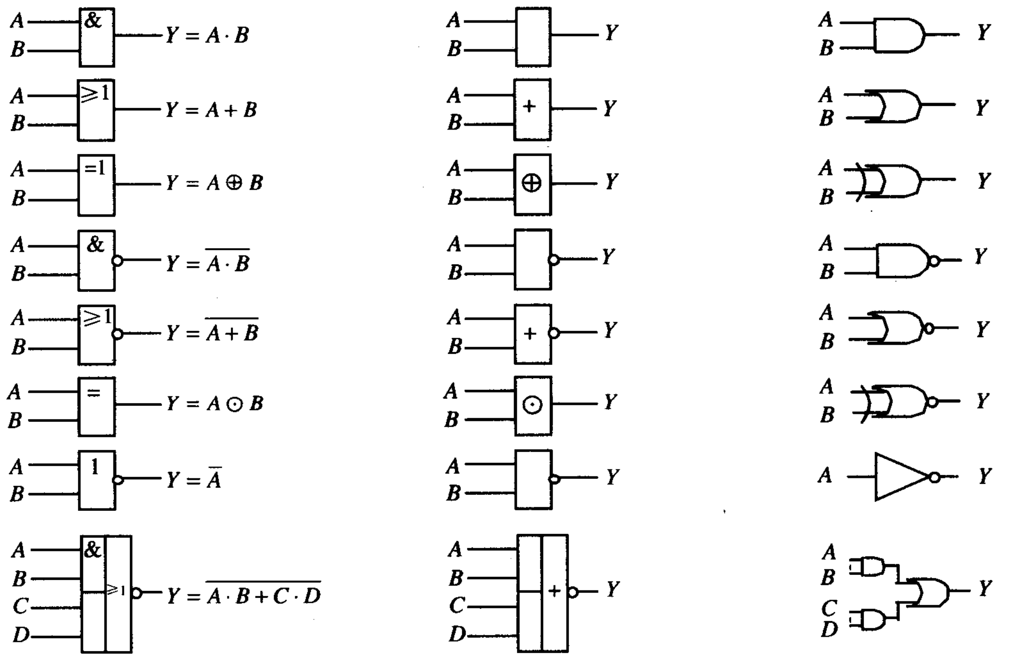
(2) 或非逻辑　$Y=\overline{A+B}$　判断方法：有 1 则 0。全 0 则 1。

(3) 与或非逻辑　$Y=\overline{A\cdot B+C\cdot D}$

(4) 异或逻辑　$Y=A\oplus B=A\overline{B}+\overline{A}B$　判断方法：奇数 1 出 1，偶数 1 出 0。

(5) 同或逻辑　$Y=A\odot B=\overline{A}\overline{B}+AB$　判断方法：偶数 1 出 1，奇数 1 出 0

能够实现如上几种逻辑运算的逻辑门电路的逻辑符号见图 1-4 所示。



(a) 图标符号　(b) 曾用符号　(c) 美国符号

图 1-4　八种运算的逻辑符号

以上是以 2 个输入变量为例，实际中输入变量通常都是多个，相应的逻辑符号输入端也有多个，比如 3 输入与门，4 输入或门，3 输入与非门。

下面介绍“异或”门。

异或门的用处比较多，在可控的数码原/反码输出器中，在数码比较器中，在奇偶效验器中都有用到。

根据异或逻辑式 $Y=A\oplus B=A\overline{B}+\overline{A}B$ 可以得到异或函数的性质：

$A\oplus A=0$，$A\oplus\overline{A}=1$，$A\oplus 0=A$，$A\oplus 1=\overline{A}$，$A\oplus\overline{A}=\overline{A\oplus B}$

$A\oplus B=B\oplus A$，$A\oplus B\oplus C=(A\oplus B)\oplus C$，$A\cdot(B\oplus C)=(A\cdot B)\oplus(A\cdot C)$

以上性质均可利用逻辑代数基本公式或真值表或逻辑图来证明。这些证明方法在本章后几节都要学习到。

1.2 逻辑代数的基本定律和基本运算规则

1.2.1 逻辑代数的基本定律

逻辑代数是研究逻辑问题的数学工具，是按着一定逻辑规律运算的代数系统。

逻辑代数的基本公式见表 1.4。其中每个公式都是成对出现的，左边的公式和右边的公式互为对偶式。

对偶式是这样的一对表达式：对于任意一个逻辑函数表达式 Y，如果把函数 Y 中的“+”号换成“·”号；把“·”号换成“+”号；“1”换成“0”；“0”换成“1”，并保持原先运算的优先级不变，那么得到的函数和原函数互为对偶函数。

读者可以从左边公式推出右边公式，也可以反过来推。

表 1.4 中公式的证明可以用真值表加以验证，即：把 0 和 1 的各种组合直接代入公式中，左边总等于右边。

表中的公式中，交换律、结合律、分配律的规律与普通代数相似；逻辑代数的特殊规律是重叠律、反演律、还原律、吸收律，这些规律与代数规律不相同。

表 1.4 逻辑代数的基本公式

公式名称	公式	
0—1 律	$A \cdot 0=0$	$A+1=1$
	$A \cdot 1=A$	$A+0=A$
重叠律	$A \cdot A=A$	$A+A=A$
互补律	$A \cdot \overline{A}=0$	$A+\overline{A}=1$
交换律	$A \cdot B=B \cdot A$	$A+B=B+A$
结合律	$A \cdot (B \cdot C)=(A \cdot B) \cdot C$	$A+(B+C)=(A+B)+C$
分配律	$A(B+C)=AB+AC$	$A+BC=(A+B)(A+C)$
	$(A+B)(A+\overline{B})=A$	$AB+A\overline{B}=A$
吸收律	$A(A+B)=A$	$A+AB=A$
	$A(\overline{A}+B)=AB$	$A+\overline{A}B=A+B$
多余项定律(包含律)	$(A+B)(\overline{A}+C)(B+C)=(A+B)(\overline{A}+C)$	$AB+\overline{A}C+BC=AB+\overline{A}C$
摩根定律(反演律)	$\overline{A \cdot B}=\overline{A}+\overline{B}$	$\overline{A+B}=\overline{A} \cdot \overline{B}$
还原律	$\overline{\overline{A}}=A$	

例如，用真值表法验证反演律，如表 1.5 所示。

表 1.5 用真值表验证反演律

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

从真值表看出，无论 A、B 取何值，反演律都成立。

在运算中，通常“与”符号“·”可以省略。

公式看上去很多，其实后面的公式完全可以由前面的相应几组推导出来。例如：

(1) 吸收率

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

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

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

证明：$(A+B)(A+\overline{B})=AA+A\overline{B}+BA+B\overline{B}=A+A(B+\overline{B})+0=A$

(3) 多余项定律

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

证明：$AB+\overline{A}C+BC=AB+\overline{A}C+BC(A+\overline{A})=AB+\overline{A}C+BCA+BC\overline{A}$

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

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

证明：$AB+\overline{A}C+BCD=(AB+\overline{A}C+BC)+BCD$

$=AB+\overline{A}C+BC(1+D)=AB+\overline{A}C+BC=AB+\overline{A}C$

由以上定律可以导出一些常用公式。

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

证明：将等式左边展开，用 $A\cdot\overline{A}=0$ 得

左边$=A\overline{A}+A\overline{B}+B\overline{A}+B\overline{B}=0+A\overline{B}+\overline{A}B+0=$右边

1.2.2 逻辑函数的基本规则

用基本公式可以解决很多问题，比如化简逻辑式、求反运算等，但是对于有些问题，处理起来很麻烦，这里介绍三个规则，运用这些规则变换函数，有时很方便。运用这些规则时都不要改变原函数的运算顺序。

关于运算顺序：例如，一个逻辑函数 $Y=ABC+A\overline{B}D+\overline{A}\ \overline{B}C$，一共有三个与运算的项，

即 ABC，$A\overline{B}D$，$\overline{A}\,\overline{B}C$，运算的顺序是先进行与运算，然后再把三个与运算结果进行或运算，这与代数中的运算相似。这是一个与或逻辑式。再如，$Y=(A+B)C+(A+C)B$，运算顺序是先进行括号里的或运算，再进行与运算，最后把两部分与项相加。这也与代数中的运算相似。

1. 反演规则

一个逻辑函数 Y，求其反函数的规则就是反演规则，其内容如下：如果将函数 Y 中所有“与”符号变成“或”符号；将“或”符号变成“与”符号；所有原变量变成反变量；所有反变量变成原变量；“0”换成“1”；“1”换成“0”，所得到的新的逻辑表达式为原函数的反函数。

【例 1-1】 求函数 $Y=ABC+AB\overline{C}+\overline{A}BC+A\overline{B}C+A\overline{B}\,\overline{C}$ 的反函数。

解：按着反演规则得

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

如果由逻辑代数的基本公式求 Y 的反，则有

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

$=\overline{ABC}\cdot\overline{AB\overline{C}}\cdot\overline{A\overline{B}C}\cdot\overline{A\overline{B}\,\overline{C}}$

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

比较两种求反的方法，显然，用反演规则更方便。

【例 1-2】 求 $Y=\overline{A}\,\overline{B}+BCD$ 的反函数

解：$\overline{Y}=(A+B)(\overline{B}+\overline{C}+D)$

反演规则中的原变量变成反变量，只是单个变量的反，多个变量运算后的反不要改变(如例 1-2)；变换时要保持运算顺序不改变。

2. 对偶规则

如果将函数 Y 中所有“与”符号变成“或”符号；将“或”符号变成“与”符号；“0”换成“1”；“1”换成“0”，但逻辑变量不进行反变换，得到的新的逻辑函数与原逻辑函数对偶。这个获得对偶式的规则称对偶规则。

对偶式有两个性质：

(1) 如果两个逻辑函数相等，则它们的对偶式也相等。例如表 1.4 中的基本公式，将左边一列公式的左、右分别求对偶，则两边的对偶仍然相等。

(2) 函数对偶式的对偶为函数本身。

用对偶可以方便地证明一些等式或化简。

【例 1-3】 写出下列逻辑函数 Y 的对偶式 Y'

(1) $Y=A(B+C)$ → $Y'=A+BC$

(2) $Y=AB+AC$ → $Y'=(A+B)(A+C)$

(3) $Y=(A+B)(\overline{A}+C)(C+DE)+M$ → $Y'=[AB+\overline{A}C+C(D+E)]\cdot M$

对偶变换时运算顺序不变。

3. 代入规则

代入规则：任何一个含有变量 A 的等式，如果将所有出现 A 的地方都代之以同一个逻辑函数 F，则等式仍然成立。

【例 1-4】 $\overline{A+B}=\overline{A}\cdot\overline{B}$　　函数 $F=A+C$

等式中的 A 用函数 F 取代得

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

1.3　逻辑函数的公式化简法

化简逻辑函数有重要意义：在实际问题中，直接根据逻辑要求得到的逻辑函数是比较复杂的，含有较多的逻辑运算，构造电路所需要的逻辑器件也多，为了提高数字电路的可靠性，需要减少元件个数，对逻辑函数进行化简能实现这个目的。

因为在电子系统中，无论是分立元件组成的具有一定功能的电路，还是不同集成度的集成电路，在功能一定的条件下，所用的元件越少，信号在系统内传输时间越短，速度越快，参数越稳定，出错的可能性越小，价格也越低，而逻辑函数的简化程度直接影响构造的电路的元件多少和性能综合指标。

最简的逻辑函数应该是运算步骤最少，变量最少。

逻辑函数的表达形式是多种多样的(在本章第 7 节介绍)，化简到最简的形式并不唯一，对应的电路也不唯一。

注意：用公式法化简时，(1)不要把 $A+B=A+C$ 化简为 $B=C$。因为逻辑加和代数加不同。(2)不能把 $AB=AC$ 化简为 $B=C$，因为逻辑乘和代数乘不同。

本章介绍两种化简方法：公式法和卡诺图法。公式法化简也就是代数法化简，利用本章第 2 节的基本公式和基本规则进行化简。

1.3.1　并项法

利用公式 $AB+A\overline{B}=A$，将两项合并为一项，利用代入规则，A 和 B 可以是任何复杂的逻辑式。