

DJS-131 计算机

程序设计基础

(上)

上海无线电十三厂“七·二一”工大
复旦大学计算机科学系

目 录

第一章 基本概念	1
1.1 逻辑代数基础	1
1.1.1 引 言	1
1.1.2 逻辑代数的基本运算	2
1.1.3 逻辑代数的基本定律	11
1.1.4 逻辑函数的等价交换	11
习 题 一	13
1.2 数制及其转换的方法	17
1.2.1 数制的历史概况	17
1.2.2 十进制数的特点	19
1.2.3 二进制数	20
1.2.4 八进制数的四则运算	22
1.2.5 二进制数的逻辑运算	28
1.2.6 存储二进制数的磁芯存储器	32
1.2.7 二进制数的另外二种表示形式	36
1.2.8 八进制数	39
1.2.9 八进制数与二进制数的规则	39
1.2.10 八进制数的四则运算	40
1.2.11 八进制数与十进制数的转换方法	43
1.2.12 整数十翻八的除8取余法则	47
1.2.13 小数十翻八的乘8取整法则	48
1.2.14 八进制数的八翻十的规则	49
1.2.15 实 例	49
1.2.16 十六进制数	51
1.2.17 十六进制数的数制转换规则	52

习 题 二	55
1.3 负数的表示方法	58
1.3.1 引 言	58
1.3.2 数的原码表示方法	61
1.3.3 数的反码表示方法	62
1.3.4 数的补码表示方法	64
1.3.5 补码的特点	69
1.3.6 实例与框图的概念	74
习 题 三	78
第二章 DJ S—131 机解题的基本原理	80
2.1 DJ S—131 机的构造原理和简单的使用方法	80
2.1.1 人工解题过程的形式描述	80
2.1.1.1 手摇计算机的结构特点和计标过程的形式描述	80
2.1.1.2 指令和程序的概念	82
2.1.1.3 解题的三个组成部分	84
2.1.2 DJ S—131 计标机的结构特点和简单指令的使用方法	84
2.1.2.1 DJ S—131 机的运标器和运标指令	85
2.1.2.2 DJ S—131 机的存贮器和符号指令的硬指令格式	91
习 题 四	95
2.1.2.3 DJ S—131 机的传送指令	96
2.1.2.4 DJ S—131 机的控制器	100
2.1.2.5 控制台面板和操作使用方法	101
2.1.2.6 控制台面板开关使用小结	104
习 题 五	105
2.1.2.7 在计标机上解题的全过程	105

2.1.2.8	DJS-131 机的转跳指令	108
2.1.2.9	循环程序设计的小结	118
	习 题 六	120
2.2	使用简单指令的上机实习—怎样设计唱歌程序	122
2.2.1	电子计算机是怎样会唱歌的	122
2.2.1.1	振动频率和周期	122
2.2.1.2	计算机的发音元件	122
2.2.1.3	音符的固有振动频率	123
2.2.1.4	计算机的速度和指令的执行时间	125
2.2.1.5	发音的周期常数和节拍常数	126
2.2.2	DJS-131 机的唱歌程序	131
	习 题 七	136
第三章	DJS-131 机的指令系统	137
	引 言	137
3.1	指令的编址方法	139
3.1.1	关于地址的多级内容概念	139
3.1.2	地址公式	141
3.1.3	变址概念与真地址的形成方法	143
3.1.4	取一个真地址 D 的多级内容的实现方法	145
	习 题 八	150
3.2	访内指令	152
3.2.1	传送指令	152
	习 题 九	155
3.2.2	转跳指令	156
3.2.3	访内指令的应用	157
3.2.4	程序设计与程序方法	159
	习 题 十	166

3.3	运标指令	167
3.3.1	DJS机运标器的特点	169
3.3.2	加法器溢出的条件	171
3.3.3	进位及其形成方法	173
3.3.4	移位功能与移位寄存器	178
3.3.5	进位和移位的应用举例	181
3.3.6	判跳功能	182
3.3.7	判送功能	184
3.3.8	运标指令的应用举例	185
	习 题 十 一	196
3.4	常用子程序的设计方法	198
3.4.1	概 论	198
3.4.2	按位加子程序	200
3.4.3	逻辑加子程序	200
3.4.4	开平方子程序	200
3.4.5	乘法子程序	202
3.4.6	除法子程序	205
3.4.7	设置校验位的子程序	206
3.4.8	奇偶校验子程序	210
3.4.9	产生伪随机数的子程序	212
3.4.10	测内存大小的子程序	213
3.4.11	程序的定位	214
	习 题 十 二	215
3.5	输入输出指令	218
3.5.1	计算机使用外部设备的一般概况	218
3.5.2	输入输出指令	233
3.5.3	输入输出指令应用举例	239
	习 题 十 三	262

第一章 基本概念

1.1 逻辑代数基础

1.1.1 引言

逻辑代数是用来描述、分析、简化逻辑线路的一种数学方法，也称开关代数，或称布尔代数。

逻辑代数的基本原理是基于事物的矛盾性，如果我们用“一分为二”的观点来分析电子线路，我们就不难发现电子线路的每一个元件无不具有对立统一的统一物的特性。例如：电源的正极与负极，电容的充电与放电，电磁铁的S极与N极，三极管的导电与截止，开关的接通与断开等，都反映了统一物分成矛盾着的二个部分的对立统一的特性，正是由于这种普遍规律的存在，人们在实践过程中不断总结经验，就逐渐形成了反映这种规律性的理论——逻辑代数。

逻辑代数的基本点在于把统一物从具体的事物中抽象出来赋予变量的记号（例如A、B、C……）并称之为逻辑变量（或简称变量）且用数学的方法来研究统一物矛盾的转化及其矛盾运动的规律。

在逻辑代数中，把统一物从具体的事物中抽象出来以后，将其矛盾着的二个状态分别用二个最简单的数字0与1来标记。也就是说逻辑变量的变化范围仅仅是0与1二个数字，故逻辑变量也称二值逻辑变量。例如在图1-1的开关线路中，开关A和电灯C就可以看作二个逻辑变量，并且可以规定：

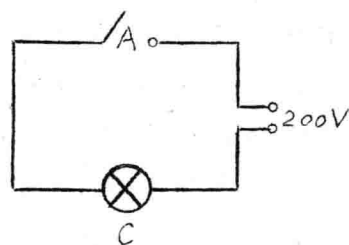


图 1-1

$$A = \begin{cases} 1 & \text{当开关A接通} \\ 0 & \text{当开关A断开} \end{cases}$$

$$C = \begin{cases} 1 & \text{当电灯C亮} \\ 0 & \text{当电灯C不亮} \end{cases}$$

不仅如此，逻辑变量C与A之间还存在着一定的因果关系，即

函数关系，其中开关A可以看作自变量，而电灯C可看作因变量。

C与A的函数关系就可写成： $C = A$

其函数的变化规律也可以用函数列表法来表示：

自变量A	因变量C
0	0
1	1

要描述比较复杂一点的线路，就要用到逻辑代数中的基本运算。逻辑代数的基本运算也是数字电子计算机解题所不可缺乏的基本运算。

在逻辑代数中与我们今后的学习有关联的内容有三个方面，

即：

1. 逻辑代数的基本运算；
2. 逻辑代数的基本定律；
3. 逻辑函数的等价变换。

现分别作如下的介绍。

1. 1、2 逻辑代数的基本运算

一、逻辑非

逻辑非是一种否定法则，否定在这里是指的一个概念，是指的统一物由一个状态向着它的对立面转化的法则。

所谓对逻辑变量A施行否定法则，就是指变量A所代表的状态向着它的对立面转化的法则。这个法则写成形式记号就是：

$$\overline{A}$$

读成非A。例如当A代表电灯亮，则 $\overline{A}$ 就代表电灯不亮等，其中 $\overline{A}$ 就表示电灯由亮到不亮的转化。按否定法则的转化原理，把 $\overline{A}$ 看作一个新的变量再对 $\overline{A}$ 施行否定法则就有：

$$(\overline{\overline{A}}) = \overline{\overline{A}} = A$$

也就是说记号 $\overline{\overline{A}}$ 标志着 $\overline{A}$ 的对立面A的转化法则。

这样一来，一个统一物的二种矛盾着的状态，就都可以用形式

记号来描述，例如任一统一物 A 的二个矛盾着的状态就都可以记成：

A 与 $\bar{A}$

例如图 1—2 中 A 表示一个单向双掷的开关，开关的二个状态就可以分别描述成：



图 1—2

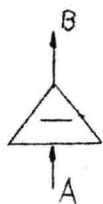
如果我们把逻辑变量 A 从具体的统一物中抽象出来则 A 与 $\bar{A}$ 之间就存在着如下的函数关系：

$$\bar{A} = \begin{cases} 1 & \text{当 } A = 0 \\ 0 & \text{当 } A = 1 \end{cases}$$

在逻辑代数中，常数仅仅只有 0 与 1 两个，对常数施行逻辑非运算就有

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

在电子线路中，对应于逻辑非运算的物理元件称为非门。如果我们抽掉逻辑变量的时间概念和物理实现的方法（注）则我们就可以把非门记成：



非门的数学含义就是：

$$B = \bar{A}$$

且 $B = \begin{cases} 1 & \text{当输入端的变量 } A \text{ 是 } 0 \text{ (或记成 } A = 0 \text{)} \\ 0 & \text{当输入端的变量 } A \text{ 是 } 1 \text{ (或记成 } A = 1 \text{)} \end{cases}$

逻辑非运标有时也称逻辑反。

二、逻辑代数是研究统一物矛盾转化及其运动的规律性的科学。但是，统一物矛盾的转化是有条件的。“在一定条件之下，矛盾的东西能够统一起来，又能够互相转化。”分析促使统一物矛盾转化的条件归纳起来可以分成二类。也就是说，当若干个条件同时作用于一个统一物时，促使该统一物矛盾转化的方法只有二类：一类是在若干个条件中只要有一个条件成立时（或者这个，或者那个都可以）统一物的矛盾就转化了（其中有一个以上的条件成立或者全部成立也是一样）。另一类是在若干个条件中，必须使其中所有的条件都同时成立，统一物的矛盾才能转化。

例如种子发芽的过程是统一物矛盾转化的实例。我们知道，欲使种子发芽必须同时具备一定的空气、一定的温度和一定的湿度这三个基本条件，缺少一个条件种子就不能发芽。

上述二类法则，在理论上前者就称为“或”法则，后者就称为“与”法则。

1、“或”法则

在图1-3并联的开关线路中，有三个逻辑变量A、B、C，其中开关A、B是自变量，电灯C是因变量。显然，只要或者开关A接通或者开关B接通或者二者都接通，电灯C就亮了，这是“或”法则的最简单的典型的实例。三个变量之间的关系可用函数列表法表示如下：

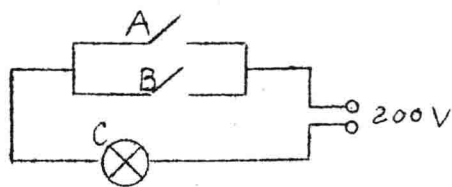


图1-3

自变量		因变量
A	B	C
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

注：在实际设计电子计称机的元件和电子线路时，逻辑变量的时间概念是不能忽视的（参攷习题1、5），否则会导致错误的结论。在这里，由于我们在今后的学习中主要考虑变量的定性的数值化的运标，故采用这类抽象的记号来加以简化。

从上述表的前三行可以看出，“或”法则类似于算术中的加法，故或法则称之为逻辑加，逻辑加的形式记号用 $\vee$ 表示（读成或）于是图 1-3 线路就可以用形式记号描述成：

$$C = A \vee B$$

读成 C 等于 A 或 B 。

逻辑加 $C = A \vee B$ 的分析表达式可记成：

$$C = \begin{cases} 0 & \text{当 } A \text{ 与 } B \text{ 同时等于 } 0 \text{ 时} \\ 1 & \text{当 } A \text{ 与 } B \text{ 中只要有 } 1 \text{ 个是等于 } 1 \text{ 时} \end{cases}$$

逻辑加运算对于常数 0 与 1 则具有如下的特性：

$$0 \vee 0 = 0$$

$$0 \vee 1 = 1$$

$$1 \vee 0 = 1$$

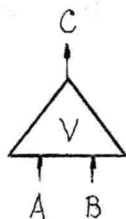
$$1 \vee 1 = 1$$

以上讨论的是只有二个自变量的逻辑加运算，对于具有二个以上自变量的逻辑加运算也完全一样。

例如： $F = A \vee B \vee C \vee D$ 的分析表达式便是

$$F = \begin{cases} 0 & \text{当 } A \cdot B \cdot C \cdot D \text{ 都同时等于 } 0 \text{ 时} \\ 1 & \text{当 } A \cdot B \cdot C \cdot D \text{ 中至少有一个等于 } 1 \text{ 时} \end{cases}$$

在电子线路中，实现逻辑加运算的物理元件称为“或”门。“或”门的形式记号是：



“或”门的数学含义就是：

$$C = \begin{cases} 0 & \text{当所有输入端的变量 (} A \text{ 与 } B \text{) 都是 } 0 \\ 1 & \text{当所有输入端的变量 (} A \text{ 与 } B \text{) 中至少有一个是 } 1 \end{cases}$$

2. “与”法则

图1—4是一个串联的开关线路，图中有三个逻辑变量，分别代表二个开关和一盏电灯，从图中不难看出，欲使电灯C亮的条件是开关A与开关B同时接通，于是图1—4中因变量C与自变量A与B的关系可用函数列表法表示如下：

自 变 量		因变量 C
A	B	
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

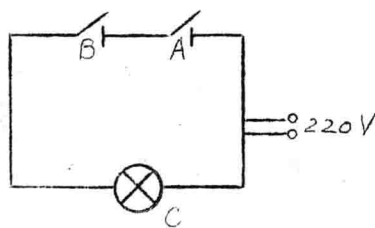


图 1—4

从上述表格可以看出，“与”法则类似于算术中的乘法，故“与”法则又称为逻辑乘，并用这标记号 $\wedge$ 表示（读成与）；于是图1—4线路就可以用形式的记号描述成：

$$C = A \wedge B$$

读成C等于A与B。

逻辑乘 $C = A \wedge B$ 的分析表达式可记成：

$$C = \begin{cases} 0 & \text{当自变量}(A \text{与} B) \text{中只要有一个是} 0 \\ 1 & \text{当自变量}(A \text{与} B) \text{都同时等于} 1 \end{cases}$$

对于自变量在三个以上的逻辑乘这称与二个变量的逻辑乘这称的关系完全一致。

例如： $F = A \wedge B \wedge C \wedge D$

就有如下的分析表达式：

$$F = \begin{cases} 0 & \text{当自变量}(A, B, C, D) \text{中只要有} 1 \text{个是} 0 \\ 1 & \text{当自变量}(A, B, C, D) \text{都同时等于} 1 \end{cases}$$

逻辑乘这称对于常数0与1则具有如下的特性：

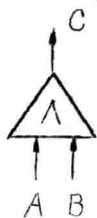
$$0 \wedge 0 = 0$$

$$1 \wedge 0 = 0$$

$$0 \wedge 1 = 0$$

$$1 \wedge 1 = 1$$

在电子路线中，实现逻辑乘运算的物理元件称为“与”门，其形成记号是：



“与”门的数学含义是：

$$C = \begin{cases} 0 & \text{当所有输入端的变量 (A 与 B) 中只要有一个是 0} \\ 1 & \text{当所有输入端的变量 (A 与 B) 都是 1} \end{cases}$$

三、用函数列表法写出逻辑公式的一般方法

图 1—5 是一个可以由二个人在二个不同的地点分别通过使用开关 A 和开关 B 来独立控制一个电器设备 M 的一个开关线路。

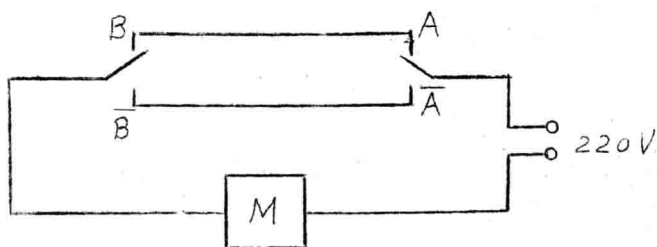


图 1—5

(例如楼上楼下同时使用一盏照明用的电灯的线路就是它的特例)

现在要求写出电器设备 M 中有电流通过 (即 $M = 1$) 的逻辑公式。

用函数的列表法很容易写出开关 A 与 B 和电器设备 M 的关系：

自 变 量		因变量 M
A	B	
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	1

所谓按函数列表法写出逻辑公式的一般方法是对于给定的因变量（例如 M ），用“与”法则写出它等于 1 时的各自变量的状态，然后再用“或”法则把所有由“与”法则拼成的逻辑公式综合起来，例如在上表中 $M = 1$ 条件有二个方面。

$$1. M = A \wedge B$$

$$2. M = \bar{A} \wedge \bar{B}$$

所谓用“或”法则加以综合就是

$$M = (A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$$

在写的过程中规定：

1、当自变量的值是 1 时就是写该自变量的变量记号（例如当 $A = 1$ 时就写 A ）。

例如：在表中，由 $A = 0$ 与 $B = 0$ ，导致 $M = 1$ ，就写成：

$$M = \bar{A} \wedge \bar{B}$$

由 $A = 1$ 与 $B = 1$ 导致 $M = 1$ 就可写成：

$$M = A \wedge B$$

于是逻辑公式：

$$M = (A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$$

就给出了 $M = 1$ 的总的条件，如果我们考察 $M = 0$ 的逻辑公式时，

只要把 $M=0$ 写成 $\bar{M}$ ，其方式完全一样。

例如：

$$1. \bar{M} = A \wedge \bar{B}$$

$$2. \bar{M} = \bar{A} \wedge B$$

综合起来就有

$$\bar{M} = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B)$$

以上就是按函数列表法写出关于因变量的逻辑公式的一般方法。
分析 $M=1$ 与 $\bar{M}=1$ 的二个逻辑公式：

$$(A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$$

$$(A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B)$$

我们发现它们有特殊的规律，就是前者自变量的状态相同，后者自变量的状态相异，在实际使用过程中，经常会遇到关于它们的组合公式的出现，尤其是逻辑公式： $(A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B)$ 更为有用。故习惯上都称之为逻辑异，逻辑异运算既有算术加法的功能，又有“或”法则的功能，故用形式记号 ∇ 来表示，于是二个逻辑变量 A 与 B 的逻辑异运算就可写成：

$$A \nabla B = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B)$$

如果

$$C = A \nabla B$$

则关于 C 的分析表达式便是：

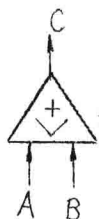
$$C = \begin{cases} 0 & \text{当变量 } A \text{ 与 } B \text{ 的值相同} \\ 1 & \text{当变量 } A \text{ 与 } B \text{ 的值相异} \end{cases}$$

逻辑公式： $C = A \nabla B$

的函数列表表示法是：

自 变 量		因变量 C
A	B	
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

在电子线路中逻辑异运标所对应的物理元件称为“异”门记成：



“异”门的数学含义是：

$$C = \begin{cases} 0 & \text{当所有输入端 (A 与 B) 的状态相同} \\ 1 & \text{当所有输入端 (A 与 B) 的状态相异} \end{cases}$$

在上述的讨论过程中，从 M 和 $\bar{M}$ 的表达式中可以得到一个启发，就是从 $\bar{\bar{M}} = M$ 可得出如下的结论：

$$(A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B) = (A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$$

但是我们如何来证明，它们是相等的呢？

又例如按逻辑公式： $C = A \vee B$ 的函数列表法：

自 变 量		因变量
A	B	
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

我们就可以写出关于逻辑加运标的另一种表达形式：

$$C = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge B)$$

这又怎样来证明如下的恒等式是正确的呢？

$$A \vee B = (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge B)$$

上述二个问題，给我们提出了一个新的任务，就是逻辑公式如何进行变换和如何简化的问題。在设计电子计算机线路和考虑逻辑运标

的时候如何使线路设计得最合理，所使用的元件最少，或进行逻辑运算时所执行的运算次数最少等等都属于这一类任务。

要对逻辑公式进行等价变换和简化就需要了解逻辑代数的基本定律。

1. 1. 3 逻辑代数的基本定律

设 A 、 B 、 C 是逻辑变量，作为习题，请用函数列表法验证下列定律的正确性。

1. 否定之否定 $\overline{\overline{A}} = A$

2. 重复律 $1^\circ A \wedge A \wedge A \wedge A \dots \wedge A = A$

$2^\circ A \vee A \vee A \dots \vee A = A$

3. 吸收律 $1^\circ 0 \vee A = A, 1 \vee A = 1$

$2^\circ 1 \wedge A = A, 0 \wedge A = 0$

4. 矛盾吸收律 $A \vee \overline{A} = 1, A \wedge \overline{A} = 0$

5. 反演律 $1^\circ \overline{A \wedge B} = \overline{A} \vee \overline{B}$

$2^\circ \overline{A \vee B} = \overline{A} \wedge \overline{B}$

6. 交换律 $1^\circ A \wedge B = B \wedge A$

$2^\circ A \vee B = B \vee A$

7. 结合律 $1^\circ (A \wedge B) \wedge C = A \wedge (B \wedge C)$

$2^\circ (A \vee B) \vee C = A \vee (B \vee C)$

8. 分配律 1° 第一分配律: $A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$

2° 第二分配律: $A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C)$

1. 1. 4 逻辑函数的等变换

所谓逻辑函数就是具有自变量和因变量的逻辑公式。逻辑函数在电子线路中对应于某一具体的线路。我们在设计数字电子计算机的过程中有一个从逻辑线路到电子线路以及采用物理元件来实现的过程。怎样的线路所用的物理元件最少，工作性能最可靠呢？这是一个很有现实意义的问题。显然最佳方案的选取用做实验的方法是浪

贵的，一种比较有效的方法就是利用逻辑代数的基本理论对用来描述逻辑线路的逻辑函数进行等价变换，以便找出一种或几种使用元件最少工作性能最可靠的并且最容易实现的逻辑函数，然后再做试验加以物理实现。

逻辑函数的等价变换有二种形式，一种是简化，另一种是扩展。但扩展是为更好的简化。

我们就以 1、1、3 提出的问题为例来说明什么是逻辑函数的等价变换。

例题 1、证明 $(A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge B) = A \vee B$

$$\begin{aligned}
 \text{左边} &= (\bar{A} \wedge B) \vee [(A \wedge \bar{B}) \vee (A \wedge B)] && \text{利用交换律} \\
 &= (\bar{A} \wedge B) \vee [A \wedge (\bar{B} \vee B)] && \text{利用第一分配律} \\
 &= (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge 1) && \text{利用 } \bar{B} \vee B = 1 \\
 &= (\bar{A} \wedge B) \vee A && \text{利用 } A \wedge 1 = A \\
 &= (\bar{A} \vee A) \wedge (B \vee A) && \text{利用第二分配律} \\
 &= B \vee A && \text{利用 } \bar{A} \vee A = 1 \\
 &= A \vee B && \text{利用交换律}
 \end{aligned}$$

证毕。

例题 2、证明

$$(A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B) = (A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$$

$$\begin{aligned}
 \text{证：左边} &= (A \wedge \bar{B}) \wedge (\bar{A} \wedge B) && \text{利用反演律} \\
 &= (\bar{A} \vee \bar{B}) \wedge (\bar{A} \vee \bar{B}) && \text{〃} \\
 &= (\bar{A} \vee B) \wedge (A \vee \bar{B}) && \text{利用 } \bar{\bar{A}} = A \\
 &= \{(\bar{A} \vee B) \wedge A\} \vee \{(\bar{A} \vee \bar{B}) \wedge B\} && \text{利用第一分配律} \\
 &= \{(\bar{A} \vee A) \vee (B \wedge A)\} \vee \{(\bar{A} \wedge \bar{B}) \vee (B \wedge \bar{B})\} && \text{〃} \\
 &= \{0 \vee (B \wedge A)\} \vee \{(A \wedge B) \vee 0\} && \text{利用 } \bar{A} \wedge A = 0 \\
 &= (B \wedge A) \vee (A \wedge B) && \text{利用 } 0 \vee A = A \\
 &= (A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B}) && \text{利用交换律}
 \end{aligned}$$

证毕。

例题 3、已知实现逻辑函数

$$C = A \vee (\bar{A} \wedge B)$$