数字电路与逻辑设计

（译 文）

山东工学院

1 9 7 9

前　言

开关理论与逻辑设计对数字系统的硬件设计具有很大的理论与实践价值。已经有不少教材详细地介绍了经典的组合与时序逻辑线路的设计方法。随着数字系统功能的日益完备，硬件也愈来愈复杂。因此，如何保证数字系统的高度可靠性，如何使数字系统更易于维护和使用，已经成为一个非常重要的问题摆在人们的面前。正是在这样的要求促进之下，开关理论与逻辑设计在不同的方面得到了很大的发展，关于数字电路的故障诊断就是其中之一。近年来在这方面发表了大量的论文。SAMUEL C.LEE在“数字电路与逻辑设计””(Digital Circuits and Logic Design 这本教材中，用两章的篇幅介绍了有关组合与时序逻辑线路故障诊断方面的基本理论。现译出教材的第六、七、八章三章以便于学习，参考。

由于译者水平所限，定有不少谬误之处，敬请读者指正。

译者

一九七九年三月

目　录

第八章　时序线路中的故障检测与定位

第六章 使用时序机流图设计时序线路

在前几章中，我们已经说过一个组合系统可以用真值表，布尔式及卡诺图等几种方式表达。在第五章也说过一台时序机器可以用迁移表和迁移图来叙述。在本章中将使用另一种表示方法，可称之为时序机流图（Sequential machine flow chart）它可以实现非常复杂的设计算法。用时序机流图设计数字电路和系统的方法已被现场工程人员广泛采用，但至今在高等院校中却所知甚少。

对我们来说最常见的一种流图是算法或运算流图，它常用于软件设计中（即计算机程序）在本章中，将说明如何用一种时序流图得出设计硬件的一种算法流图。正如前些章中所述，在设计数字线路时，不可能建立一种公式的方法将文字说明变成迁移表，然而，使用了时序机流图以后就较容易根据需要设计的问题的文字说明导出时序机的说明。这是因为我们惯于普通的流图（算法流图），又可以直接将一个普通流图转换成时序机流图的缘故。

一旦得出了需要设计的逻辑问题的时序机流图，就能很快地设计出时序机的次态函数与输出函数，进而设计出具体线路。表示用软件及硬件完成算法流图的方框图描述了要求的设计指标。

本章分为六节。前四节说明方框图，第6.5节讨论状态配置问题，这个问题在第5.6节中已经研究过，那是为了在设计异步线路时消除竞态现象，然而，在这里研究它是为了尽量简化被设计的线路。在第6.6节中说明了二个用时序机流图法进行设计的例子，一个是设计累加器，一个是设计一台数字钟。

本节所介绍的方法是完全通用的，可用于设计任何异步与同步时序线路。

§6.1 时序机流图

时序机流图或简写成SM图是一种描述一台时序机总性能的状态流图，在介绍它之前，先要说明为了帮助记忆而规定的输入与输出端子的表示方法，

以及为了规定每个端子的功能的某些字的意义。形成时序机输入与输出的端子要加以命名，称为助记字（*mnemonics*），它们由一些字母和数字所组成，用于帮助记忆端子上与逻辑电平相关的运算功能。这些名字要短，使得在设计过程中易于处理。当然可以人为的选择一个命名系统，但在这里推荐一种系统。该系统满足下列四个目的：

1、对每一根公共的逻辑线用单一名称，

2、整个机器采用一致的逻辑电平，

3、说明端子的型式（输入，输出），

4、便于识别逻辑功能。

基本的助记字一般由说明该端子操作或功能的字的头三到四个字母组成。例如：一个输出端子可称为OUT，起头的字母H，L，Y或N用于说明逻辑电平以及端子型式（输入或输出）。前缀H（高）及L（低）用于说明一个输出信号电平的高低；而前缀Y（是）与N（否）用于说明当输入为真时其逻辑电平为1与0。例如：HOUT2表明输出OUT2产生1（高）信号而YX表示若X为真则其逻辑电平为1。另一个前缀I用于表示输出指令端子。I代表"立即"功能，也就是说在现态完成该任务。不带前缀I的H或L表示延时功能，即在次态才完成的任务。例如：HOUT1表示输出OUT1在现态产生1（高）信号。表6.1.1说明了基本的前缀字母的意义。

表6.1.1 SM图用的前缀字母

逻辑端子型式	助记字起头字母	逻辑端子的意义 1	逻辑端子的意义 0
输出或指令	H	完成操作	未起作用
	L	未起作用	完成操作
输入或限制	Y	命题为真	命题为假
	N	命题为假	命题为真
立即	I	置于H或L之前表示立即的功能	

图6·1·1是时序机的模型图，并表示了SM图设计技术所采用的指示出入，输出，次态函数，输出函数与状态的字母。请注意此模型与图4·1·1（b）的模型是等值的，所不同的是后者将次态函数与输出

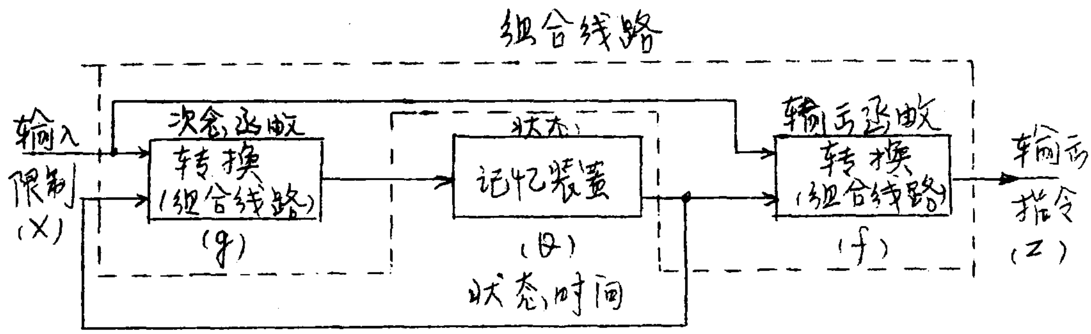


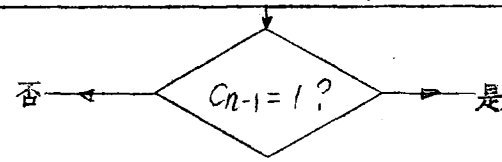
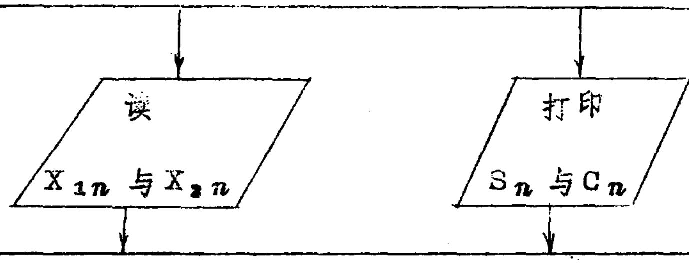
图6·1·1　更详细的时序机模型

函数合为一个。在本模型中X（限制）与Z（指令）用于表示机器的输入与输出，用Q表示状态，用g与f分别表示次态函数与输出函数。另外，用字母A，B，C，……表示布尔变量而用带有园圈的小写字母表示机器的状态。常用F与G表示布尔函数。在本章中，任意项不用d而用短横线表示，以便于与状态相区别。

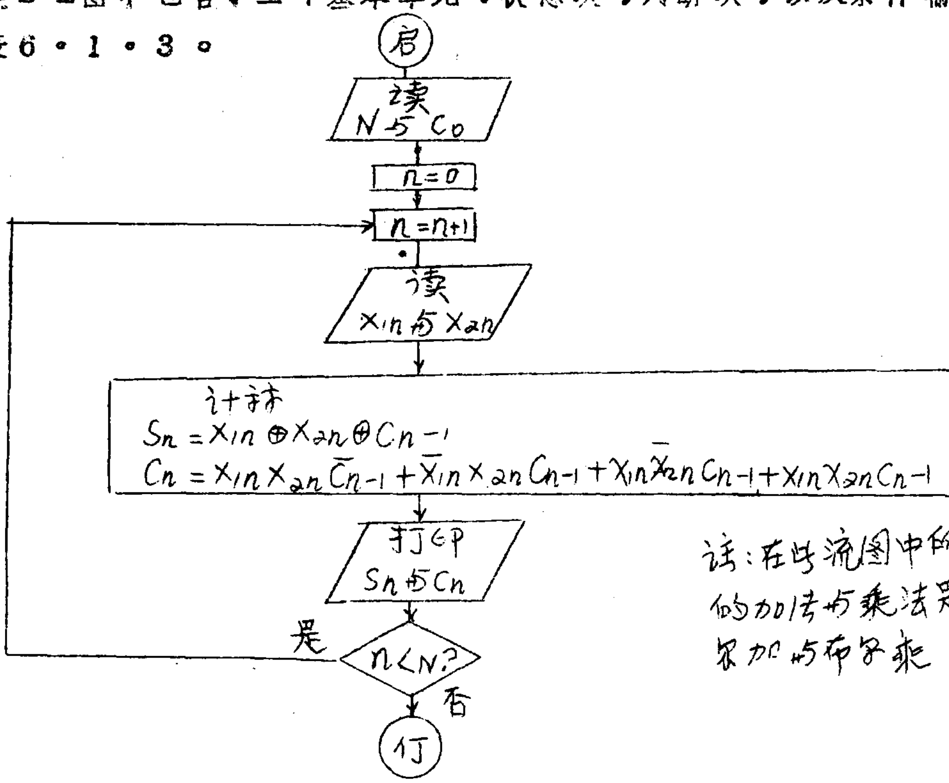
表6·1·2　算法流图使用的符号

符号	例子
端子符号	启　停
过程符号	计算 $S_n = X_{1n} \oplus X_{2n} \oplus C_{n-1}$ $C_n = X_{1n}X_{2n}\overline{C}_{n-1} + \overline{X}_{1n}X_{2n}C_{n-1} + X_{1n}\overline{X}_{2n}C_{n-1} + X_{1n}X_{2n}C_{n-1}$

电五〇 三〇〇 起

符　　号	例　　　　子
判断符号	
输入／输出 符号	

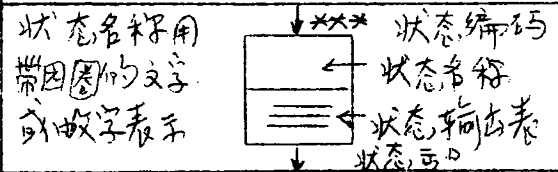
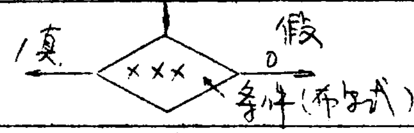
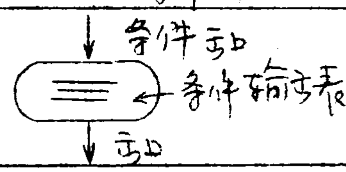
现在让我们来复习一下（普通）算法或操作流图。表6·1·2中列出了算法流图中使用的标准符号。图6·1·2画出了一串行二进制加法器的简单算法流图。然而，构成 一个SM图的基本方框和算法流图是不同的。在SM图中包含了三个基本单元：状态块，判断块，以及条件输出块，见表6·1·3。



注：在此流图中所用的加法与乘法是布尔加与布尔乘

图6·1·2　串行二进制加法器的算法流图

表6·1·3　SM图的基本方框

名　　称	符　　号
状态块	
判断块	
条件输出块	

状态块　状态块用来表示时序机的一个状态，其状态的字母或数字用园圈起来写在块的左面或右面，同时在状态块的上沿写上状态的二进制编码。若该状态有一些状态输出，则它们列在状态块中。若输出是立即变为真时，在输出命名的前面加上I字母，若为延时输出则不必加前缀。状态块具有单条出口，它可以引至判断块，条件输出块或另一个状态块。

判断块　判断块描述了进入时序机的输入量或限制量。每一个判断块有两个出口，其中之一对应于块中的布尔表达式为真时，而另一个则对应于假时。用箭头来指示条件出口。必须注意出口並不表明任何时间关系，仅仅状态块才与时间有关。

条件输出块　条件输出块用来描述与机器状态以及一个或更多的输入有关的输出。条件输出列出在块中，可以是立即操作也可以延时操作。进入块的必须是一个条件出口，並且这里只能有一个出口。

在一个SM方框中包含了一个状态块、一个判断块及条件输出块所组成的网络。用一个虚线方框表示一个SM方框，见图6·1·3。方框有一个入口和任意个出口，出口数随方框中的判断块多少而定，每一个出口必须接一个状态块而从一个状态块到另一个状态块的每一条可能的通路称之为一条联结路（*Link pafh*），因此，每一个出口就对应一条联结路。实际上为了

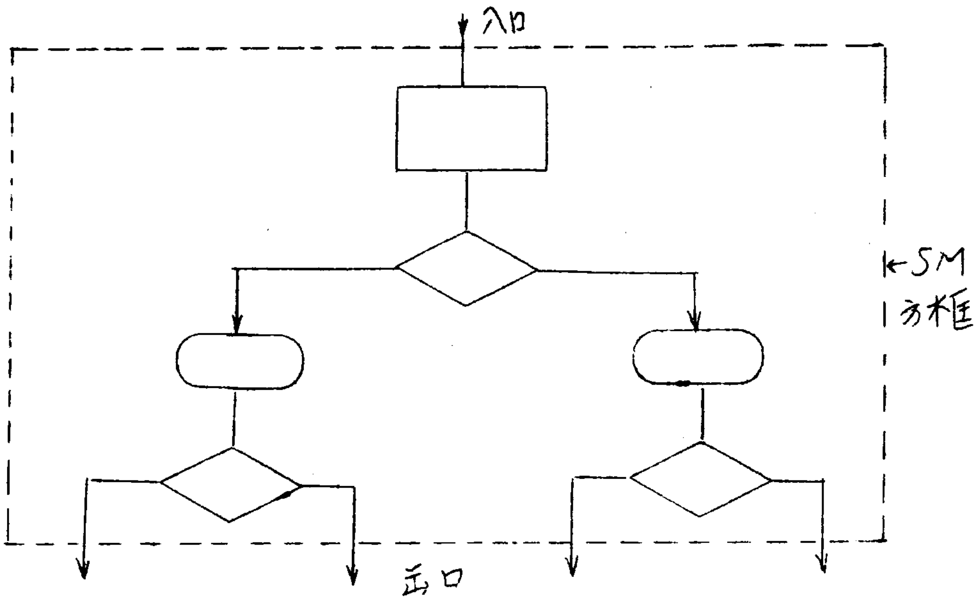
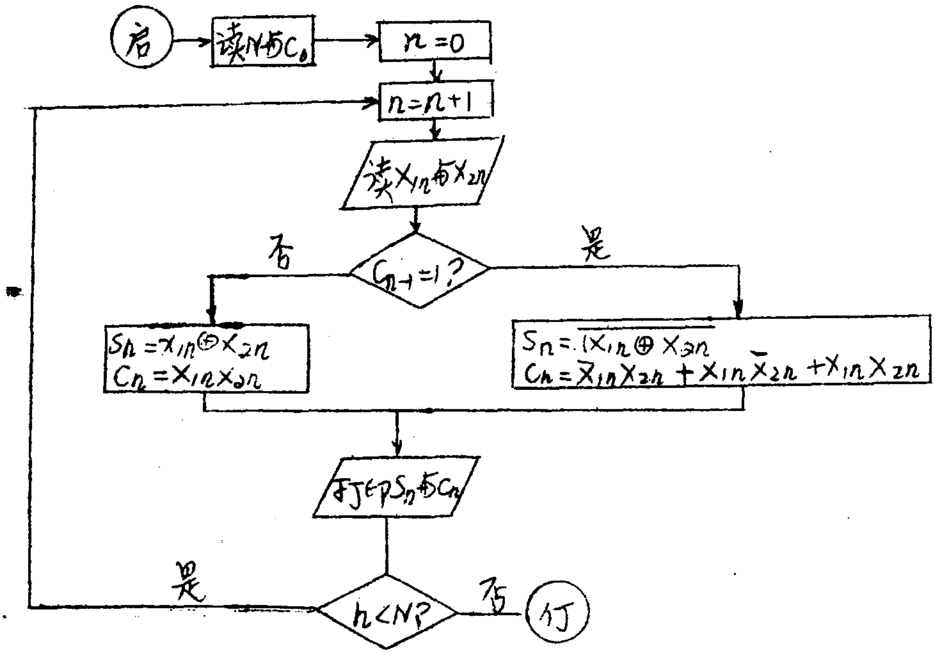


图6·1·3 SM方框

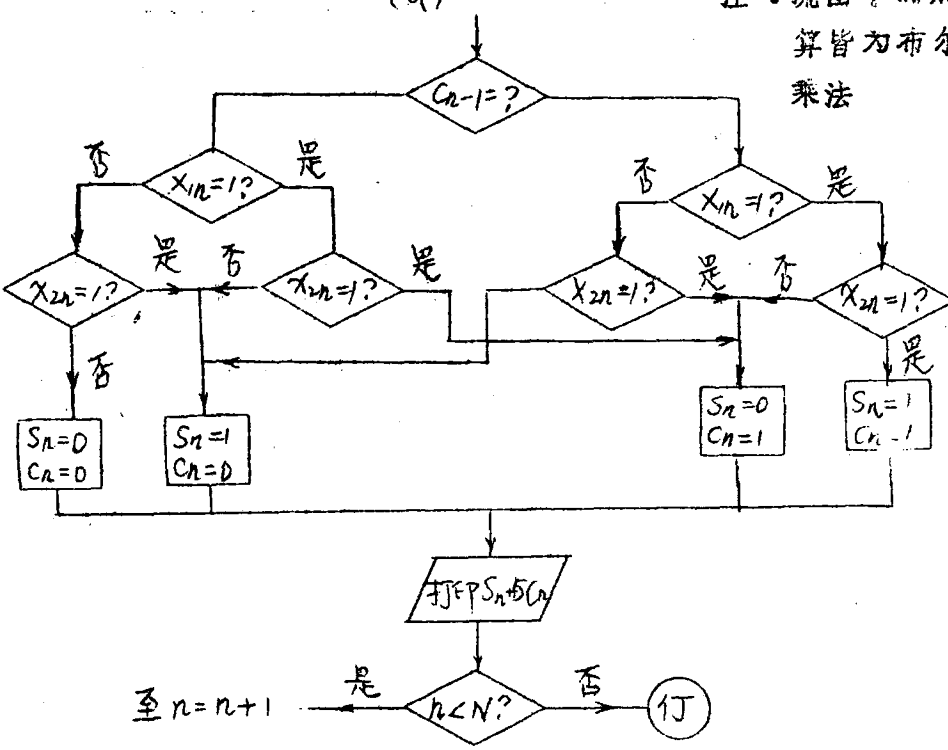
简化可以不画虚線，但是由于一个方框是由一个状态块和它与下一个状态块之间的全部条件块所组成，因此即使省略虚線而方框还可以明显地看出来。

作为如何从一个算法流图导出SM图的例子，请看图6·1·2。将流图中复杂的布尔运算用一组更加基本的运算来代替，先可以得出图6·1·4(a)，进一步可得图6·1·4(b)。从后一图可以看出，在流图中有两个状态，即 $C_n=0$ 的状态与 $C_n=1$ 的状态。若使用SM图的符号重画图6·1·4(b)可得图6·1·5(a)所示的串行加法器SM图。正如表示算术或逻辑运算的算法流图並非唯一地一样，描述一台时序机的SM图也不是唯一的。例如，图6·1·5(a)与(b)两个SM图都是串行加法器的SM图；前者的限制量是布尔变量，而后者是布尔函数。最后要强调的一点是：SM图中指示的操作是同时发生的，而算法流图则是顺序进行的。这是非常重要的一点。



(a)

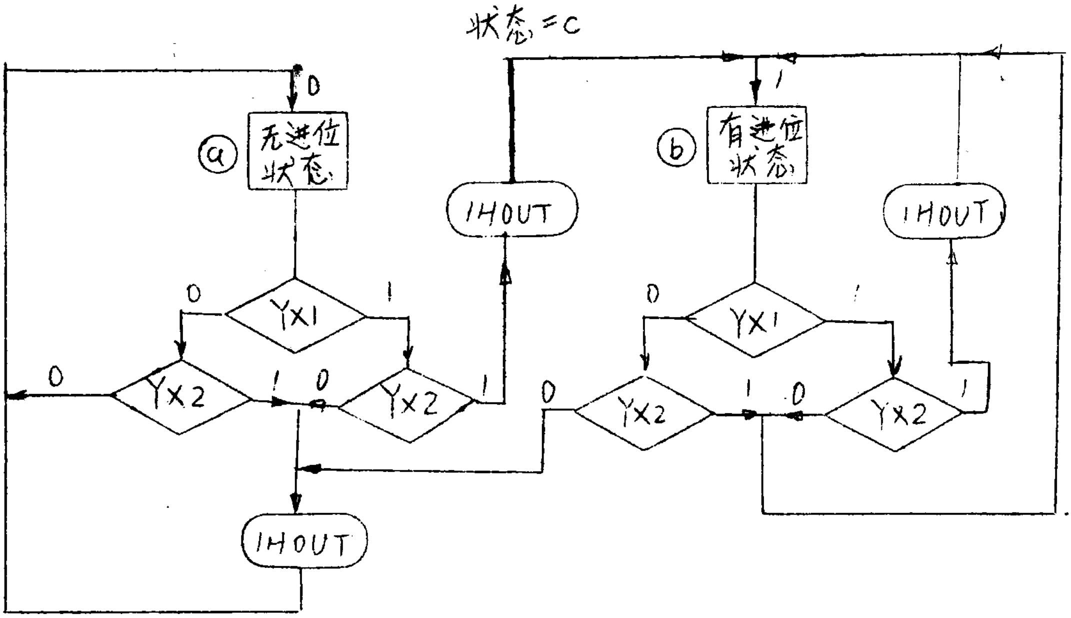
注：流图中的加与乘运算皆为布尔加法与乘法



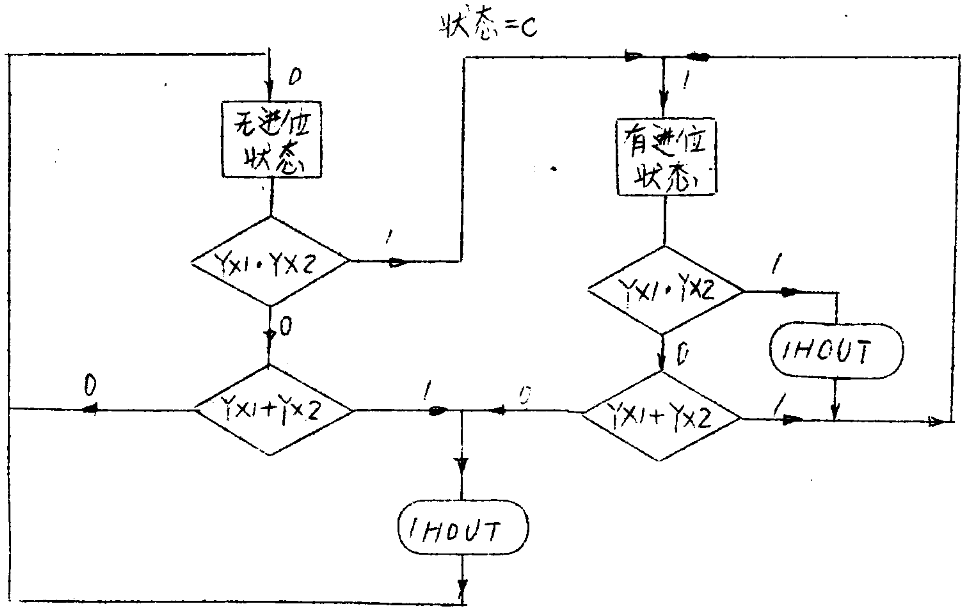
(b)

图6·1·4 串行加法器的两种算法流图

电五〇三〇〇赵



（ a ）限制为布尔变量



（限 ）限制为布尔函数

图6·1·5 串行加法器的两种ASM图

§6・2　阅读简化卡诺图

我们已经知道。，卡诺图是研究开关函数的一种很有用的工具。作为卡诺图的元素，我们曾用过0，1与任意项三种，现在我们将在卡诺图的元素中使用变量。在以前，所有的变量被用做图形变量，而图的大小就由变量的数目决定。然而若将变量作为图中的元素则可以减小图的大小，称它为简化的卡诺图（RDM），而将那些元素称之为入图变量。

试看函数 $F = A \cdot D + B \cdot C$ 的四变量的卡诺图如下：若将D作为入图变量，则D可从图形变量中消去，使之成为三变量卡诺图。

CD \ AB	00	01	11	10
00				
01			1	1
11		1	1	1
10		1	1	

卡诺图

⟺

C \ AB	00	01	11	10
0			D	D
1		1	1	D

入图变量

RDM

在确定RDM中元素之值时，先要检查在原卡诺图中当各变量不变时，入图变量D在哪里为真，哪里为假。RDM中各元素的位置是图形变量的组合，当检查入图变量为0及为1时的函数值时，该元素的位置保持不变。

若在两个位置上函数值皆为0，则将RDM的元素标上0，若在两个位置上的函数值皆为1，则RDM的元素标上1。若当入图变量为1时函数值为1而当入图变量为0时变为0，则将RDM的元素标上入图变量。若当入图变量为1时函数值为0，而入图变量为0时函数值为1，则应在RDM中标上入图变量之非。在表6・2：1中列出了在制作RDM时可能用到的各种元素值。

表6·2·1　消去卡诺图或RDM中一个图形变量的规则

对应于入图变量位置的函数值		
$X=0$	$X=1$	RDM元素[+]
0	0	0
0	1	X
1	0	$\overline{X}$
1	1	1
0	F	XF
1	F	$X+F$
F	0	XF
F	1	$X+F$
F	$\overline{F}$	$X\oplus F$
$\overline{F}$	F	$\overline{X\oplus F}$
F	F	F
F	G	$\overline{X}F+XG$
F	F＋G	$F+XG$
F＋G	F	$F+\overline{X}G$
F	FG	$F(\overline{X}+G)$
FG	F	$F(X+G)$
F＋G	F＋H	$F+\overline{X}G+XH$
FG	FH	$F(\overline{X}G+XH)$
F＋G	FH	$FH+\overline{X}(F+G)$
FG	F＋H	$FG+X(F+H)$
0	—	$(0,X)^*$
1	—	$(1,\overline{X})^*$
—	0	$(0,\overline{X})^*$
—	1	$(1,X)^*$
—	F	$(XF,\overline{X}+F)^*$
F	—	$(\overline{X}F,X+F)^*$

＋$(a,b)^*$ 表示只要能使RDM最简单，在RDM中可以用 a 也可以用 b。

电五〇 三〇〇 起

例6·2·1　将图6·2·1(a)的五变量卡诺图表如图6·2·1(b)的四变量RDM，而图6·2·1(c)为包含入图变量E与F的RDM。利用表6·2·1，它还可简化成图6·2·1(d)的三变量RDM。

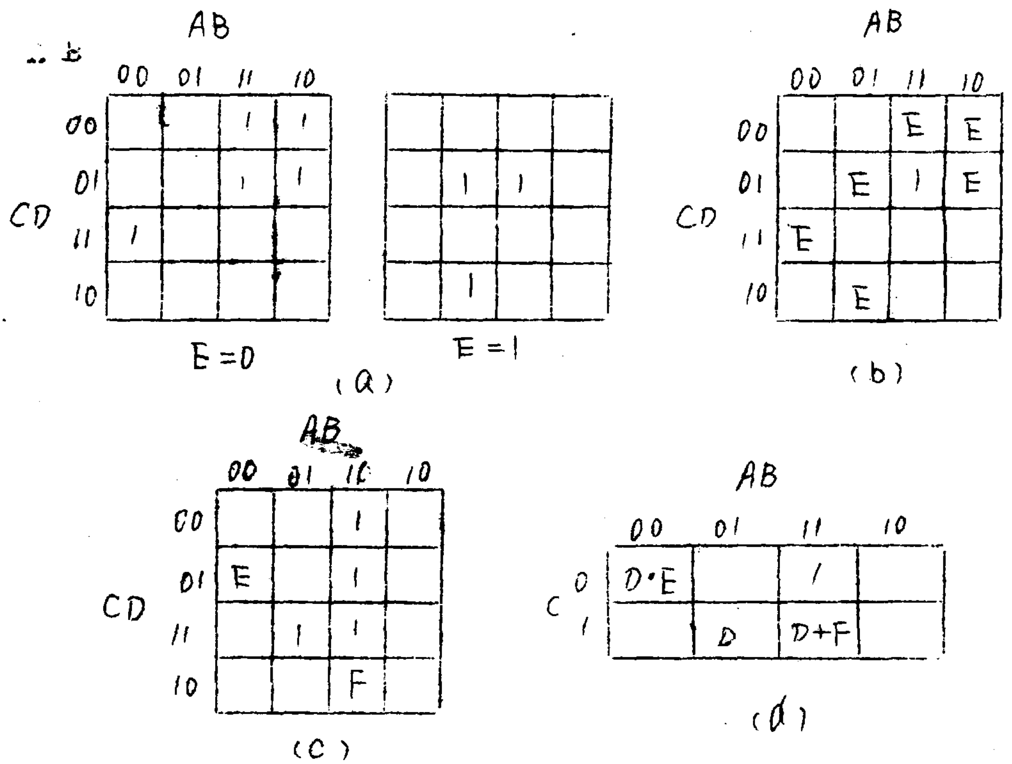


图6·2·1　例6·2·1的卡诺图及其RDM

从图6·2·1(d)可见，RDM还可以进一步化简。一直到图中只剩下一个方程式时为止。然而对我们来说，更重要的不是去化简而是阅读一个图。因此下面将着重说明阅读简化卡诺图的技术。

可分三步来阅读RDM：

第一步：将全部入图变量设为0，读出图中为1以及任意值的元素，合并所得出的项。

第二步：将1作为任意项与入图变量合并得出一项，将此合并所得的项"与"上图中圈起来的布尔表达式。

第三步：组合第一与第二步的结果就可以读出函数。

现用下列例子说明读图的过程。

例6·2·2

按下述过程读出图6·2·2RDM的函数：合并相邻的1得出A，然后再将1作为任意项，用一个1与C合并得出$\overline{B}$，将它"与"上C得$\overline{B}$C，最后将上述两步的结果"或"起来得出F＝A＋$\overline{B}$C。

即： 第一步 A

第二步 $\overline{B}$C

第三步 F＝A＋$\overline{B}$C

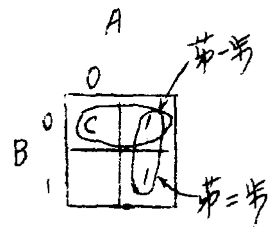


图6·2·2
例6·2·2的RDM

例6·2·3

图6·2·3的RDM所表示的函数为：

第一步 $\overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}$＋$\overline{A}$BC

第二步 $\overline{B}$D＋BC$\overline{D}$

第三步 F＝$\overline{A}\overline{B}\overline{C}$+$\overline{A}$BC+$\overline{B}$D+BC$\overline{D}$

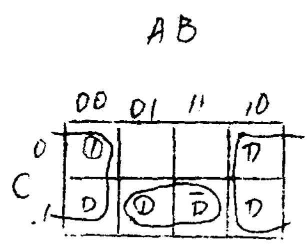


图6·2·3
例6·2·3的RDM

在第一及第二步中都可以利用任意值的元素，见下例：

例6·2·4

图6·2·4中的任意值元素*在第一步中被利用得出B，在第二步中得出$\overline{C}$D＋AC$\overline{D}$

第一步 B

第二步 $\overline{C}$D＋AC$\overline{D}$

第三步 F＝B+$\overline{C}$D+AC$\overline{D}$

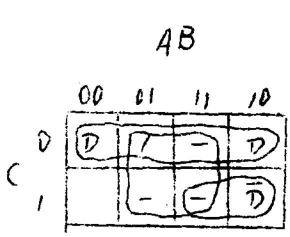


图6·2·4
例6·2·4的RDM

* 注意本章卡诺图中的任意值元素用短横線表示，而不用d或X表示，这是为了避免与状态标志或状态变量相混。

例6·2·5

图6·2·5中的任意值元素与1相合并并且与入图变量E以及EF相合并。

第一步 $\bar{B}D$

第二步 $\bar{A}DE + ABC(EF)$

第三步 $G = \bar{B}D + \bar{A}DE + ABCEF$

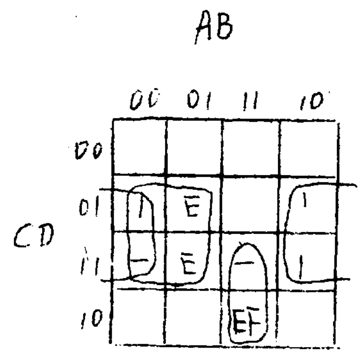


图6·2·5 例6·2·5的RDM

当相邻的方块中具有公共项时，还可作某些简化，通常可对RDM中个别项的布尔表达式加以处理而进行简化。若相邻方块中包含公共的"或"项，可将该公共项合并得出一项，而将"或"式的另外项单独处理，可用下例加以说明。

例6·2·6

图6·2·6的RDM所表示的最简函数式为：

$$G = BE + B\bar{D}F$$

证：$G = B\bar{D}(E+F) + BDE$

$= BE(\bar{D}+D) + B\bar{D}F$

$= BE + B\bar{D}F$ //

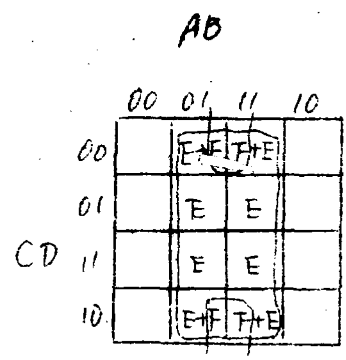


图6·2·6 例6·2·6的RDM

以下的例子表示了在阅读RDM时可能碰到的几种组合。还有一些组合留作练习。

例6·2·7

图6·2·7的RDM所表示的一个最简函数为 $F = AC(B+D)$

证：$F = A\bar{B}CD + ABC$

$= AC(\bar{B}D + B)$

$= AC(B+D)$ //

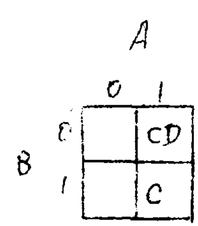


图6·2·7

例6·2·7的RDM

电五〇 三〇〇 赵