



6.4 时序逻辑电路的设计方法

6.4.1 同步逻辑时序电路设计

同步时序逻辑电路设计的一般步骤

一、逻辑抽象，得出电路的状态转换图或状态转换表

二、状态化简：消去多余的状态，得简化状态图（表）。

三、状态分配，又称状态编码：即把一组适当的二进制代码分配给简化状态图（表）中各个状态。 $2^{n-1} < M \leq 2^n$ (6.4.1)

四、选定触发器的类型，求出电路的状态方程、驱动方程和输出方程

五、根据得到的方程式画出逻辑图

六、检查设计的电路能否自启动

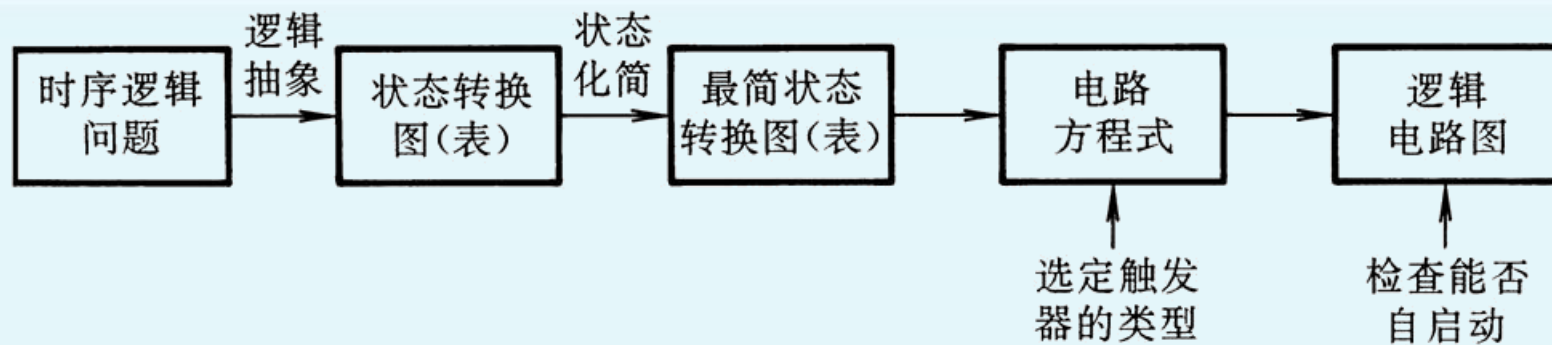


图6.4.1 同步时序逻辑电路的设计过程

【例6.4.1】 试设计一个带有进位输出端的十三进制计数器

解：1、首先进行逻辑抽象，根据设计要求，设定状态，画出状态转换图。状态图不能再化简。

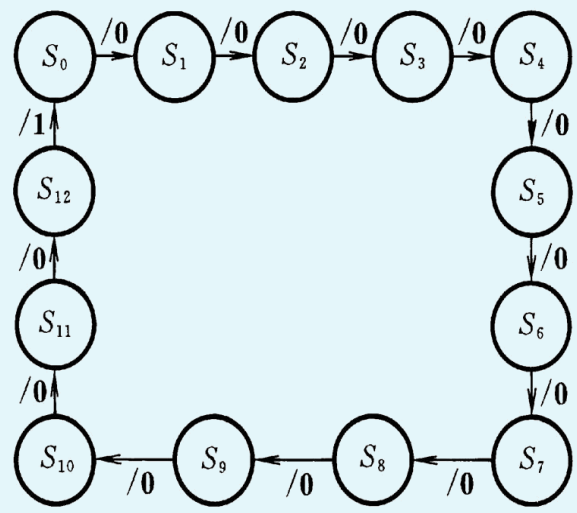


图6.4.2 例6.4.1的状态转换图

2、根据式 (6.4.1)，应取触发器位数 $n=4$ ，状态分配，列状态转换分配表



表6.4.1 例6.4.1电路的状态转换表

状态变化顺序	状态编码				进位输出 C	等效 十进制数
	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀		
S ₀	0	0	0	0	0	0
S ₁	0	0	0	1	0	1
S ₂	0	0	1	0	0	2
S ₃	0	0	1	1	0	3
S ₄	0	1	0	0	0	4
S ₅	0	1	0	1	0	5
S ₆	0	1	1	0	0	6
S ₇	0	1	1	1	0	7
S ₈	1	0	0	0	0	8
S ₉	1	0	0	1	0	9
S ₁₀	1	0	1	0	0	10
S ₁₁	1	0	1	1	0	11
S ₁₂	1	1	0	0	1	12
S ₀	0	0	0	0	0	0



根据表6.4.1画出表示次态逻辑函数和进位输出函数的卡诺图

$Q_3^n Q_2^n \backslash Q_1^n Q_0^n$		00	01	11	10
		00	01	11	10
00	0001/0	0010/0	0100/0	0011/0	
01	0101/0	0110/0	1000/0	0111/0	
11	0000/1	××××/×	××××/×	××××/×	
10	1001/0	1010/0	1100/0	1011/0	

图6.4.3 例6.4.1电路次态/输出
($Q_3^{n+1} Q_2^{n+1} Q_1^{n+1} Q_0^{n+1} / C$) 的卡诺图





电路的状态方程为：

$$\begin{cases} Q_3^{n+1} = Q_3 \overline{Q_2} + Q_2 Q_1 Q_0 \\ Q_2^{n+1} = \overline{Q_3} Q_2 \overline{Q_1} + \overline{Q_3} Q_2 \overline{Q_0} + \overline{Q_2} Q_1 Q_0 \\ Q_1^{n+1} = \overline{Q_1} Q_0 + Q_1 \overline{Q_0} \\ Q_0^{n+1} = \overline{Q_3} \overline{Q_0} + \overline{Q_2} \overline{Q_0} \end{cases} \quad (6.4.2)$$

电路的输出方程为：

$$C = Q_3 Q_2 \quad (6.4.3)$$



如果选用JK触发器组成电路，式（6.4.2）的状态方程变为JK触发器的标准形式，找出驱动方程

$$\begin{cases} Q_3^{n+1} = Q_3 \overline{Q_2} + Q_2 Q_1 Q_0 (Q_3 + \overline{Q_3}) = (Q_2 Q_1 Q_0) \overline{Q_3} + \overline{Q_2} Q_3 \\ Q_2^{n+1} = (Q_1 Q_0) \overline{Q_2} + (\overline{Q_3} \cdot \overline{Q_1 Q_0}) Q_2 \\ Q_1^{n+1} = Q_0 \overline{Q_1} + \overline{Q_0} Q_1 \\ Q_0^{n+1} = (\overline{Q_3} \overline{Q_2}) \overline{Q_0} + 1 Q_0 \end{cases} \quad (6.4.4)$$

各个触发器的驱动方程为

$$\begin{cases} J_3 = Q_2 Q_1 Q_0, & K_3 = Q_2 \\ J_2 = Q_1 Q_0, & K_2 = \overline{\overline{Q_3} \cdot \overline{Q_1 Q_0}} \\ J_1 = Q_0, & K_1 = Q_0 \\ J_0 = \overline{Q_3} \overline{Q_2}, & K_0 = 1 \end{cases} \quad (6.4.5)$$

将0000作为初始状态代入式(6.4.4)的状态方程依次计算次态值, 结果与表6.4.1比较, 验证电路的逻辑功能是否正确



最后检查电路能否自启动

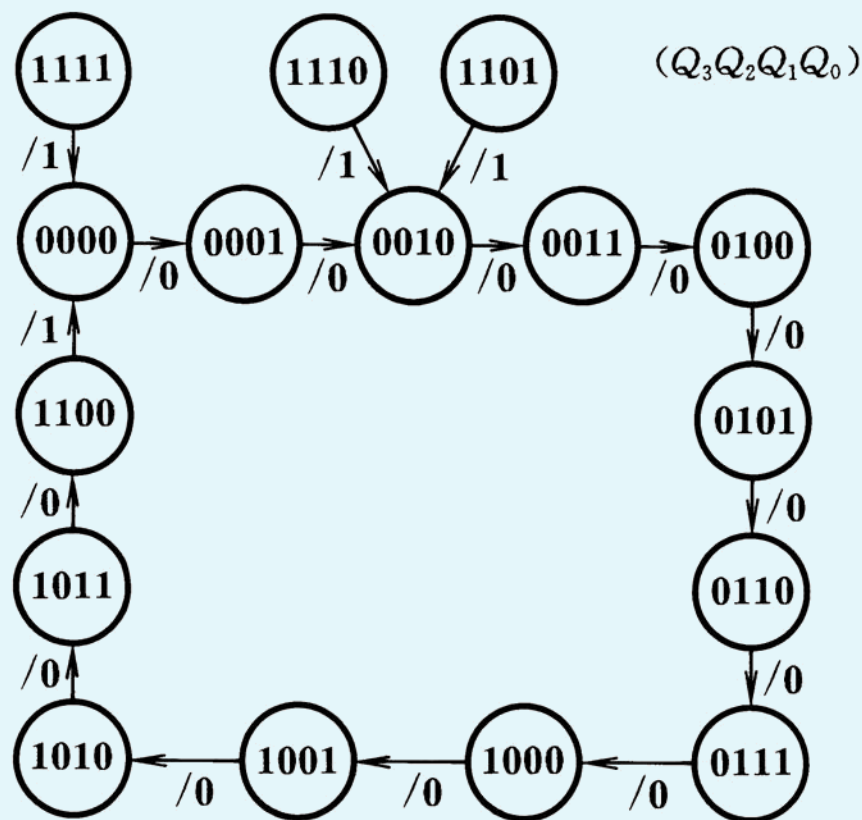


图6.4.6 图6.4.5电路的状态转换表



【例6.4.2】设计一个串行数据检测器。对它的要求是：连续输入3个或3个以上1时输出为1，其他输入情况下为0。

解：首先进行逻辑抽象，画出状态转换图。

取输入数据为输入变量，用 X 表示；取检测结果为输出变量，以 Y 表示。

设 S_0 —电路没有输入1以前状态， S_1 —输入一个1以后状态， S_2 连续输入两个1以后状态， S_3 连续输入3个或3个以上1以后状态

表6.4.2 例6.4.2的状态转换表

$S^{n+1} \backslash S^n$ $X \backslash Y$		S_0	S_1	S_2	S_3
0		$S_0/0$	$S_0/0$	$S_0/0$	$S_0/0$
1		$S_1/0$	$S_2/0$	$S_3/1$	$S_3/1$

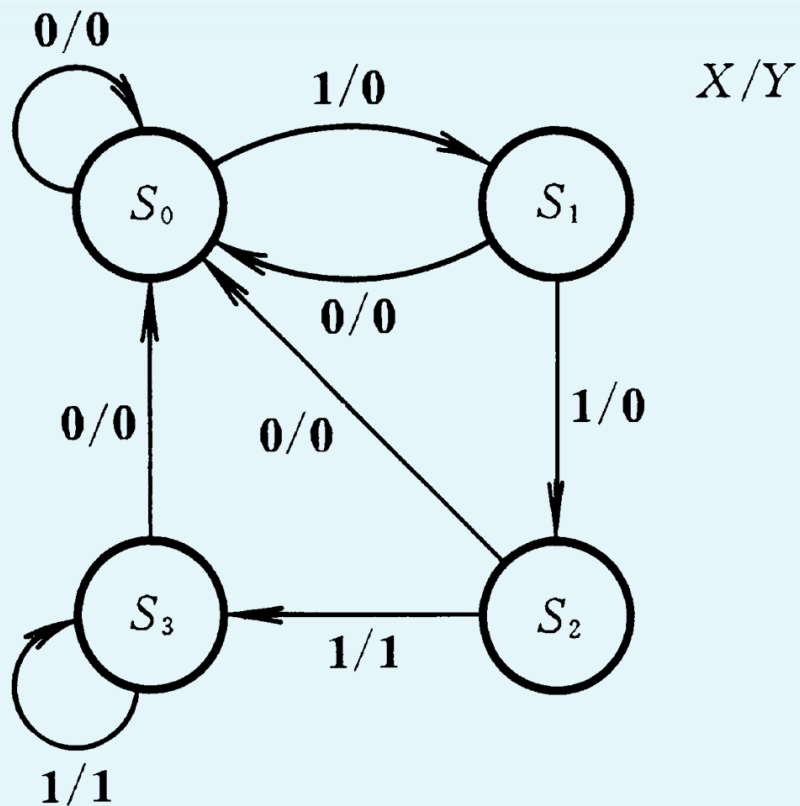


图6.4.7 例6.4.2的状态转换图

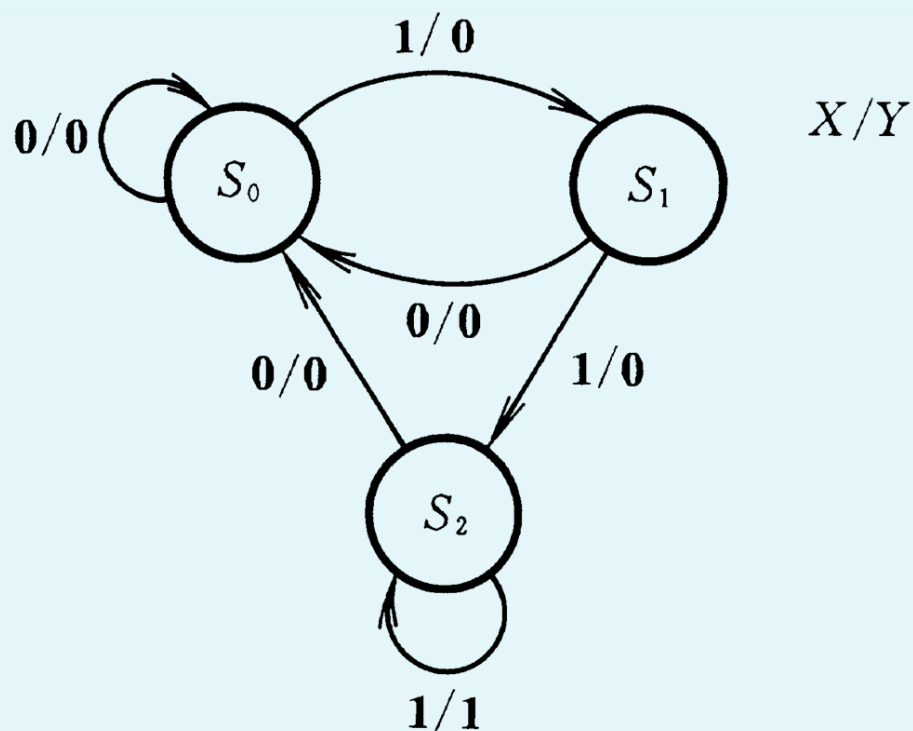


图6.4.8 化简后的例6.4.2的状态转换图

S_2 和 S_3 是等价状态，可以合并一个状态。



当电路处于 S_2 状态时已经连续输入两个1，只要下个输入为1，就表明连续输入3个1，无需再设置一个电路状态。

电路状态 $M=3$ ，则 $n=2$

取触发器状态 Q_1Q_0 的00、01和10分别代表 S_0 、 S_1 和 S_2 ，选定JK触发器组成检测电路

$Q_1^n Q_0^n$		X			
		00	01	11	10
0	0	00/0	00/0	××/×	00/0
	1	01/0	10/0	××/×	10/1

图6.4.9 例6.4.2电路次态/输出
($Q_1^{n+1} Q_0^{n+1} / Y$) 的卡诺图



$X \backslash Q_1^n Q_0^n$		00	01	11	10
		0	0	\times	0
1	0	0	1	\times	1

(a) Q_1^{n+1}

$X \backslash Q_1^n Q_0^n$		00	01	11	10
		0	0	×	0
1	0	1	0	×	0

(b) Q_0^{n+1}

$X \backslash Q_1^n Q_0^n$		00	01	11	10
		0	0	×	0
1	0	0	0	×	1

(c) Y

图6.4.10 图6.4.9卡诺图的分解

电路的状态方程为

$$\begin{cases} Q_1^{n+1} = XQ_1 + XQ_0 = XQ_1 + XQ_0(Q_1 + \overline{Q_1}) \\ \quad = (XQ_0)\overline{Q_1} + XQ_1 \\ Q_0^{n+1} = X\overline{Q_1}\overline{Q_0} = (X\overline{Q_1})\overline{Q_0} + \overline{1}Q_0 \end{cases} \quad (6.4.6)$$



驱动方程为

$$\begin{cases} J_1 = XQ_0, & K_1 = \bar{X} \\ J_0 = X\bar{Q}_1, & K_0 = 1 \end{cases} \quad (6.4.7)$$

输入方程（由图6.4.10（c）得）为

$$Y = XQ_1 \quad (6.4.8)$$

若使用**D**触发器，将式（6.4.6）与**D**触发器的特性方程对照，找出**D**端对应的逻辑式，即**D**触发器的驱动方程

$$\begin{cases} D_1 = XQ_1 + XQ_0 = X\bar{\bar{Q}_1}\bar{\bar{Q}_0} \\ D_0 = X\bar{Q}_1\bar{Q}_0 \end{cases} \quad (6.4.9)$$



根据式 (6.4.7) 和 (6.4.8) 得到的逻辑图

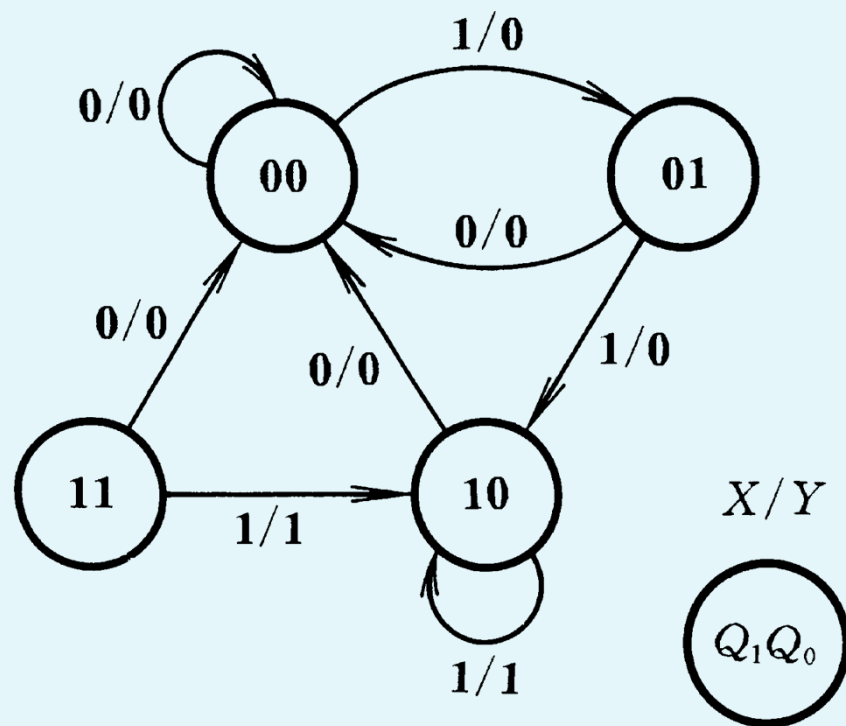
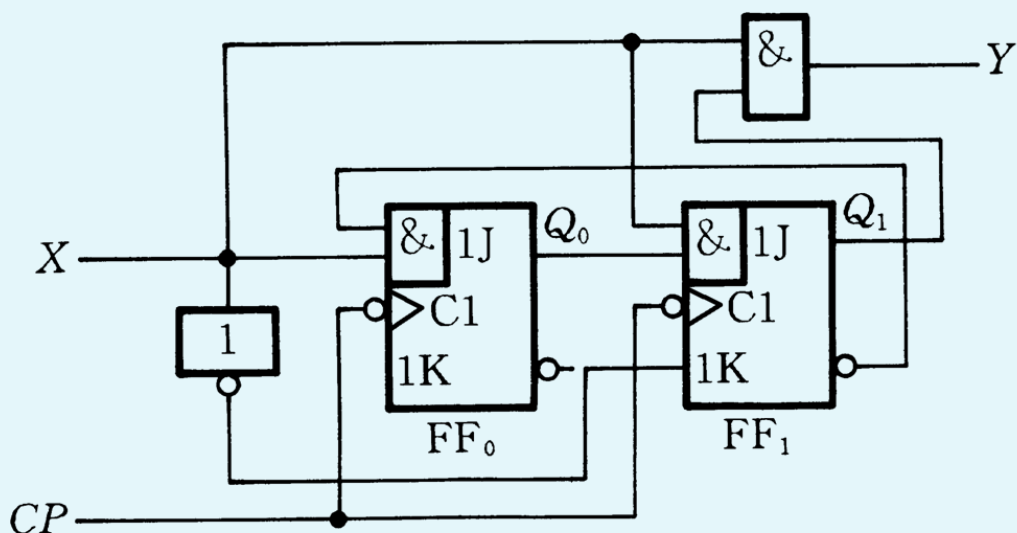


图6.4.11 例6.4.2的逻辑图

图6.4.12 图6.4.11电路的状态转换图

电路是能够自启动电路

根据式 (6.4.9) 和 (6.4.8) 得到的逻辑图

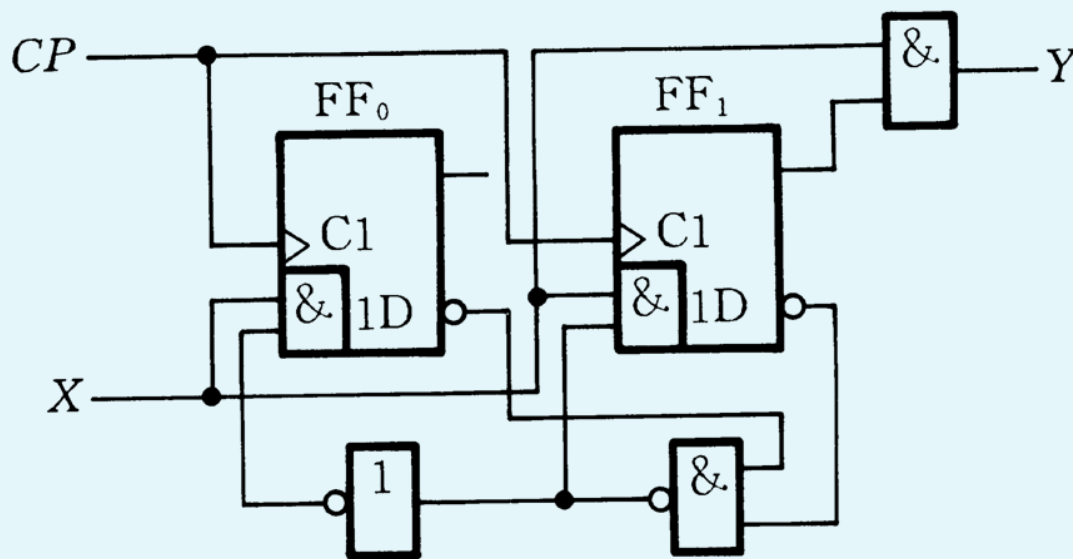


图6.4.13 用D触发器组成的数据检测器电路

【例6.3.3】设计一个自动售饮料机的逻辑电路。它的投币口只能投入一枚五角或一元的硬币。投入一元五角自动给出一杯饮料；投入两元（两枚一元）硬币后，在给出饮料的同时找回一枚五角的硬币。



表6.4.3 例6.4.3的状态转换表

S^{n+1} / S_i \ AB AB YZ		00	01	11	10
S_0		$S_0/00$	$S_1/00$	× / × ×	$S_2/00$
S_1		$S_1/00$	$S_2/00$	× / × ×	$S_0/10$
S_2		$S_2/00$	$S_0/10$	× / × ×	$S_0/11$

投币信号为输入逻辑变量：**A=1**—投入一枚一元硬币，**A=0**—未投入；**B=1**—投入一枚五角硬币，**B=0**—未投入

给出饮料和找钱为输出逻辑变量：**Y=1**—给饮料，**Y=0**—不给；**Z=1**—找回一枚五角硬币，**Z=0**—不找

S₀—未投币前电路的初始状态；**S₁**—投入五角硬币以后的状态；**S₂**—投入一元（包括一枚一元硬币和两枚五角硬币）以后的状态；

AB=11的情况不会出现，与之相应的项作为约束项。电路的状态数**M=3**

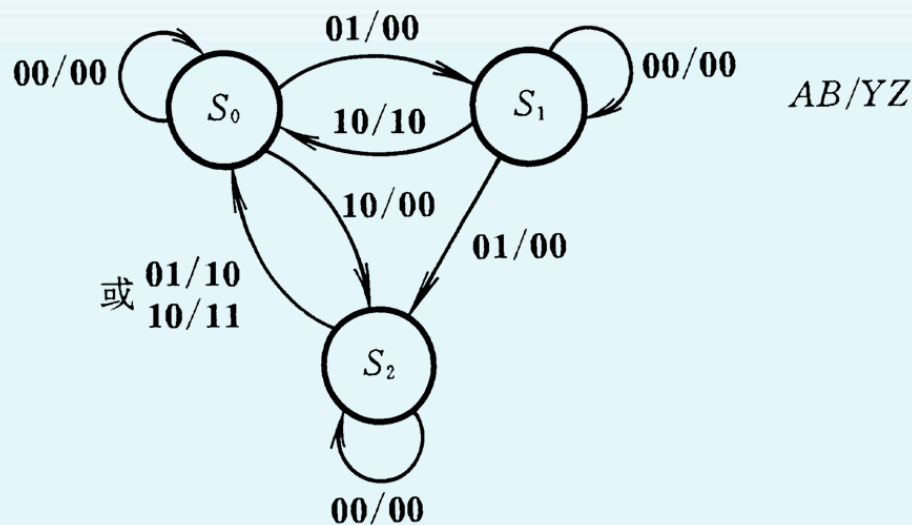


图6.4.14 例6.4.3的状态转换图

$Q_1^n Q_0^n$		AB			
		00	01	11	10
S_0	00	00/00	01/00	$\times \times / \times \times$	10/00
S_1	01	01/00	10/00	$\times \times / \times \times$	00/10
	11	$\times \times / \times \times$	$\times \times / \times \times$	$\times \times / \times \times$	$\times \times / \times \times$
S_2	10	10/00	00/10	$\times \times / \times \times$	00/11

图6.4.15 例6.4.3电路次态/输出 ($Q_1^{n+1} Q_0^{n+1} / YZ$) 的卡诺图



将图6.4.15的卡诺图分解

$Q_1^*Q_0^*$ \ AB	00	01	11	10
00	0	0	×	1
01	0	1	×	0
11	×	×	×	×
10	1	0	×	0

(a) Q_1^{n+1}

$Q_1^*Q_0^*$ \ AB	00	01	11	10
00	0	1	×	0
01	1	0	×	0
11	×	×	×	×
10	0	0	×	0

(b) Q_0^{n+1}

$Q_1^*Q_0^*$ \ AB	00	01	11	10
00	0	0	×	0
01	0	0	×	1
11	×	×	×	×
10	0	1	×	1

(c) Y

$Q_1^*Q_0^*$ \ AB	00	01	11	10
00	0	0	×	0
01	0	0	×	0
11	×	×	×	×
10	0	0	×	1

(d) Z

假定选用D触发器，则电路的状态方程、驱动方程和输出方程为：

$$\begin{cases} Q_1^{n+1} = Q_1 \overline{A} \overline{B} + \overline{Q_1} \overline{Q_0} A + Q_0 B \\ Q_0^{n+1} = \overline{Q_1} \overline{Q_0} B + Q_0 \overline{A} \overline{B} \end{cases} \quad (6.4.10)$$

$$\begin{cases} D_1 = Q_1 \overline{A} \overline{B} + \overline{Q_1} \overline{Q_0} A + Q_0 B \\ D_0 = \overline{Q_1} \overline{Q_0} B + Q_0 \overline{A} \overline{B} \end{cases} \quad (6.4.11)$$

$$\begin{cases} Y = Q_1 B + Q_1 A + Q_0 A \\ Z = Q_1 A \end{cases} \quad (6.4.12)$$

图6.4.16 图6.4.15卡诺图的分解



根据式 (6.4.11) 和 (6.4.12) 画出的逻辑图

$$\begin{cases} D_1 = Q_1 \overline{A} \overline{B} + \overline{Q_1} \overline{Q_0} A + Q_0 B \\ D_0 = \overline{Q_1} \overline{Q_0} B + Q_0 \overline{A} \overline{B} \end{cases}$$

$$\begin{cases} Y = Q_1 B + Q_1 A + Q_0 A \\ Z = Q_1 A \end{cases}$$

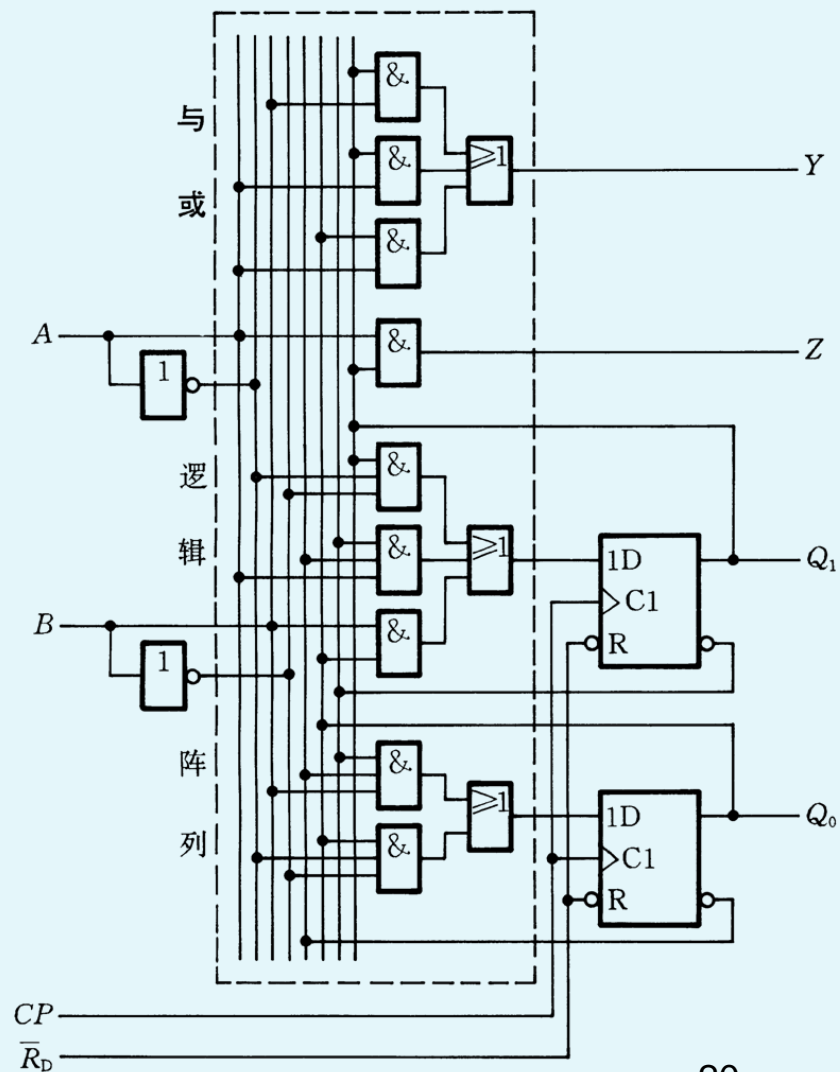


图6.4.17 例6.4.3的逻辑图

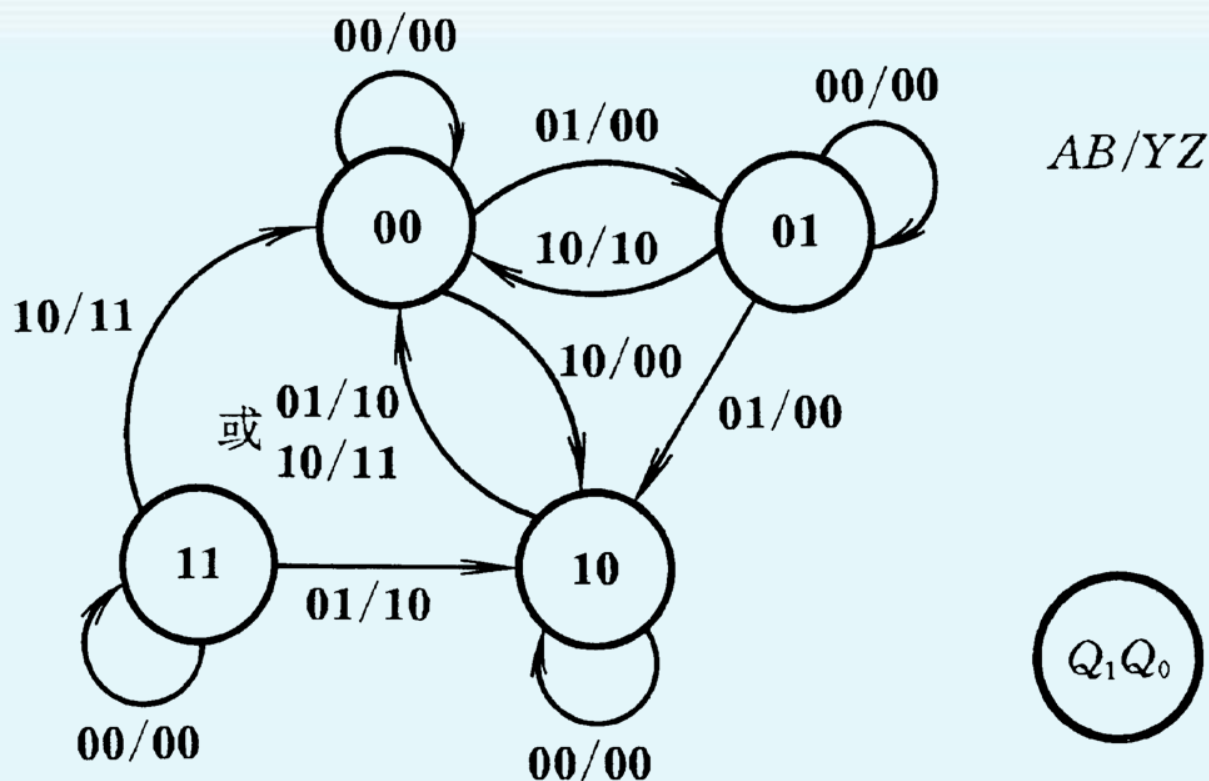


图6.4.18 图6.4.17电路的状态转换图

电路进入11以后，在无输入信号（ $AB=00$ ）的情况下不能自动返回有效循环不能自启动。当 $AB=01$ 或 $AB=10$ 时电路在时钟信号作用下能返回有效循环，但收费结果错误。需在开始工作时在异步置零端加低电平信号将电路置位00状态。