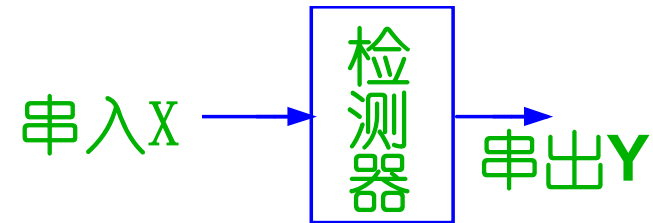


第四节 同步时序电路的设计

设计和分析互为反过程：在设计中，应根据具体逻辑问题，设计出实现这一逻辑功能要求的电路，力求最简。追求高性价比。

☆ 通过具体例题，说明设计步骤

例1：试设计一个“111”序列检测器，当连接输入三个或三个以上“1”时，检测器输出为1，否则为0



解：1、确定电路的输入量和输出量

被检测的0，1信号以串行方式输入到检测器输入端。

当输入连续出现3个或3个以上1时，输出为1，否则为0。

根据已知条件：设输入为X，并以串行方式输入
设输出为Y，并以串行方式输出



X: 1101 1110 0100

☆连续3个1，输出为1。

Y: 0000 0110 0000

☆输入只要是0，输出为0。

2、 确定原始状态图、状态转换表。

根据文字描述的设计要求，建立原始状态图，形成原始状态转换表。

需要确定的三个问题：

☆确定系统的原始状态数，以字母表示。系统有几个状态，需要几级触发器。

☆根据设计要求，确定每一个状态在现态条件下，状态转换方向，得出原始状态图。

☆依据原始状态图，进行状态化简。

前两个问题的解决是相互联系的，目前尚无确定的步骤，常采用试凑法，因此应把注意力放在状态图的正确性，不必过分考虑多余状态。确保状态没有遗漏。



2、确定原始状态图、状态转换表。

① 确定系统状态数（确保状态没有遗漏）

设：S₀接收到0以后的状态

S₁接收到1个1以后状态。

S₂接收到2个1以后状态。

S₃接收到3个或3个以上1以后的状态。

共用四个状态 S₀ S₁ S₂ S₃

② 确定每一个状态在规定条件下的转换方向

连续输入3个或3个以上1输出为1，否则为0

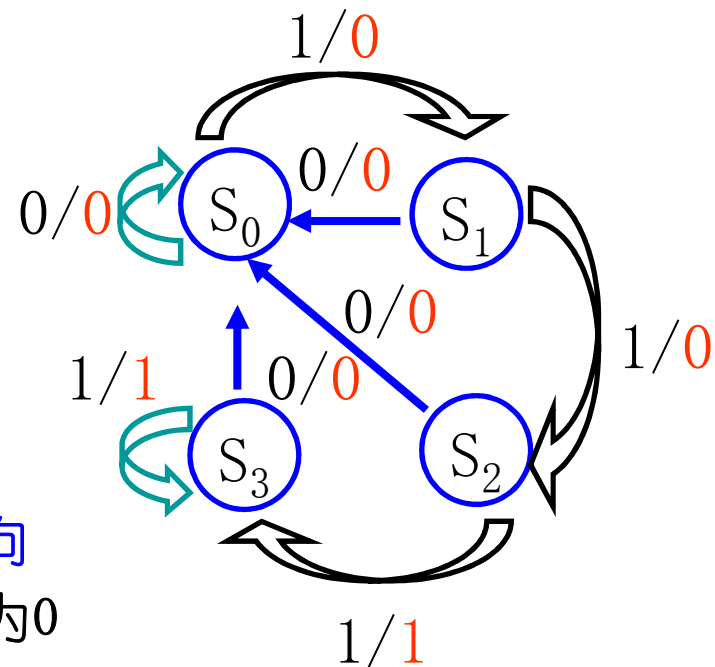
S₀是接收0以后状态，再接收0仍停留在S₀

只要接收1个1，由S₀→S₁，S₁再接收0返回S₀。

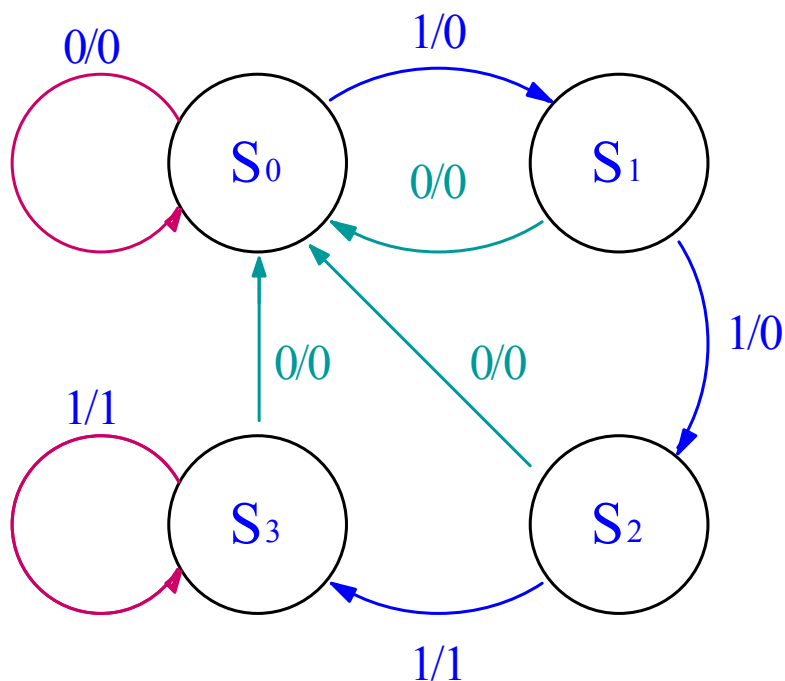
连续接收2个1，状态转换S₂。若再接收0，返回S₀。

连续接收3个1，状态转换S₃。

连续接收3个以上1，停留在S₃ 若再接收0，返回S₀



由原始状态图作出状态转换表：

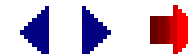


X	0	1
y^n		
S_0	$S_0/0$	$S_1/0$
S_1	$S_0/0$	$S_2/0$
S_2	$S_0/0$	$S_3/1$
S_3	$S_0/0$	$S_3/1$

y^{n+1} / Y

状态转换表：以真值表的形式表示电路次态 / 输出，和现态 y^n 及输入 X 之间的关系。

现态 S_0 ，输入 X 为 0，次态为 S_0 ，输出为 0。



③ 状态化简

检查原始状态图、表中的状态是否有多余状态，即是否有等价状态。若有等价状态，可以进行化简，得出最简的状态图、表。

什么是等价状态：

若两个状态在相同的输入下，有相同的输出，而且转换到相同的状态称为等价。

两个状态等价时：

对于任意的输入序列，均能产生相同的输出序列，即对输入，输出关系影响完全一样。

从状态转换表中发现：

$y^n \backslash X$	0	1
S_0	$S_0/0$	$S_1/0$
S_1	$S_0/0$	$S_2/0$
S_2	$S_0/0$	$S_3/1$
S_3	$S_0/0$	$S_3/1$

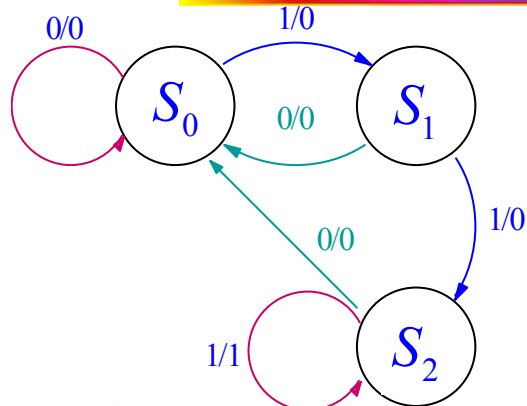
y^{n+1} / Y

现态 y^n 为 S_2 时，
 当 $X=0$ ，次态/输出均为 $S_0/0$ ，
 当 $X=1$ ，次态/输出均为 $S_3/1$ 。

所以 S_2 、 S_3 成为等价，从 S_2 中去掉 S_3 ，即，凡出现 S_3 的地方都用 S_2 代替，最后得到最简状态转换图、和状态表。



最简状态转换图、和状态表。



X	0	1
y^n		
S_0	$S_0/0$	$S_1/0$
S_1	$S_0/0$	$S_2/0$
S_2	$S_0/0$	$S_2/1$

y^{n+1} / Y

3、状态分配：

时序电路的状态是用触发器状态的不同组合来表示的，因此首先确定触发器的级数 n ，即用几个触发器。

(a) 选择触发器的级数的原则：

n 个触发器共有 2^n 个状态组合，要获得 M 个状态组合，必须取
 $2^{n-1} < M \leq 2^n$

本例状态数为3， $M=3$ ，即 $2^1 < 3 \leq 2^2$

取 $n=2$ ，表示用两级触发器

$2^2=4$ 共有四种状态：00，01，10，11



(b) 如何对选定的二级触发器 4 种状态进行分配

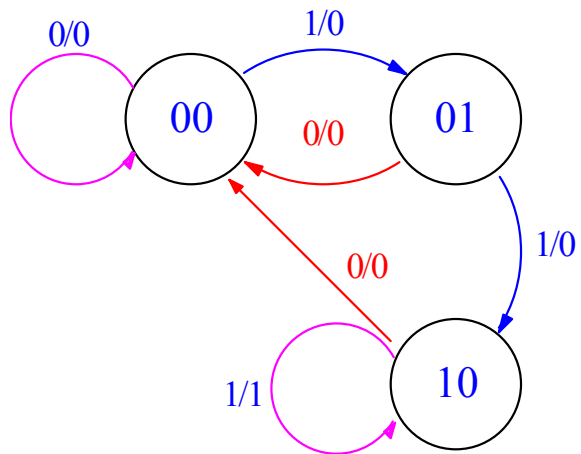
分配的原则是：

- ☆ 最后的逻辑图最简
- ☆ 多余状态不产生死循环（只用三种状态）

如果状态选择不合适，出现死循环，就要修改设计。

本例选： $S_0 = 00$ ， $S_1 = 01$ ， $S_2 = 10$ 。代入状态化简后状态转换图、表。将字母形式变换为代码形式，得出代码形式的状态转换图（表）。

给逻辑变量赋值以后的代码形式状态转图、表。



X Q_2Q_1	0	1
00	00/0	01/0
01	00/0	10/0
10	00/0	10/1

$Q_2^{n+1}, Q_1^{n+1} / Y$



4、选择触发器类型 利用特征方程求JK触发器的激励方程

$Q_2^{n+1} Q_1^{n+1} / Y$		
$Q_2 Q_1 \backslash X$	0	1
00	00/0	01/0
01	00/0	10/0
10	00/0	10/1

$Q_2 Q_1 \backslash X$	00	01	11	10
0	0	0	×	0
1	0	1	×	1

Q_2^{n+1}

$Q_2 Q_1 \backslash X$	00	01	11	10
0	0	0	×	0
1	1	0	×	0

Q_1^{n+1}

$Q_2 Q_1 \backslash X$	00	01	11	10
0	0	0	×	0
1	0	0	×	1

Y

$$Q_2^{n+1} = XQ_1 + XQ_2 = XQ_1(Q_2 + \bar{Q}_2) + XQ_2$$

$$= XQ_1\bar{Q}_2 + XQ_2$$

$$Q_1^{n+1} = X\bar{Q}_2\bar{Q}_1 = X\bar{Q}_2\bar{Q}_1 + \bar{1}Q_1$$

$$J_2 = XQ_1$$

$$J_1 = X\bar{Q}_2$$

$$K_2 = \bar{X}$$

$$K_1 = 1$$

$$Y = XQ_2$$



4、选择触发器类型

$$\begin{aligned} J_2 &= XQ_1 & J_1 &= X\overline{Q_2} \\ K_2 &= \overline{X} & K_1 &= 1 \end{aligned} \quad \text{电路输出为: } Y = XQ_2$$

☆ 用同样的方法也可以求D、T、RS触发器的激励输入。

$$RS \begin{cases} R_2 = \overline{X} \\ S_2 = XQ_1 \end{cases}, \begin{cases} R_1 = Q_1 \\ S_1 = X\overline{Q_2}\overline{Q_1} \end{cases}, \text{输出 } Y = XQ_2$$

$$D \begin{cases} D_2 = X\overline{Q_1}\overline{Q_2} \\ D_1 = X\overline{Q_2}Q_1 \end{cases}, \text{输出 } Y = XQ_2$$

$$T \begin{cases} T_2 = XQ_1 + \overline{X}Q_2 \\ T_1 = X\overline{Q_2} + Q_1 \end{cases}, \text{输出 } Y = XQ_2$$

比较四种触发器的激励输入，可以看出采用JK触发器设计的111检测电路最简单。



5、检查偏离状态

检查是否有孤立状态（死循环）即：是否具有自启动能力，这一步实际上已经变为时序电路的分析：（未指定状态 $Q_2Q_1=11$ ）

由已知激励函数求次态：

$$J_2 = XQ_1 \quad J_1 = X\overline{Q_2}$$

$$K_2 = \overline{X} \quad K_1 = 1 \quad Y = XQ_2$$

X	Q_2	Q_1	J_2	K_2	J_1	K_1	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Y
0	1	1	0	1	0	1	0	0	0
1	1	1	1	0	0	1	1	0	1

00, 01是指定状态，所以 $S_3 = 11$ 为非孤立状态，电路不存在死循环，因而是具有自启动能力的三个“1”检测器。

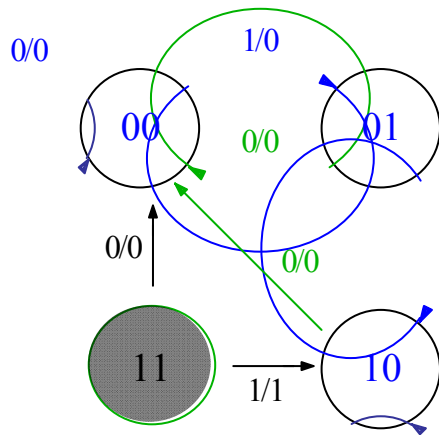
从分析中可知：当现态 $Q_2Q_1=11$ 时：

输入 $X=0$ 次态 $Q_2^{n+1}Q_1^{n+1}=00$

输入 $X=1$ 次态 $Q_2^{n+1}Q_1^{n+1}=10$



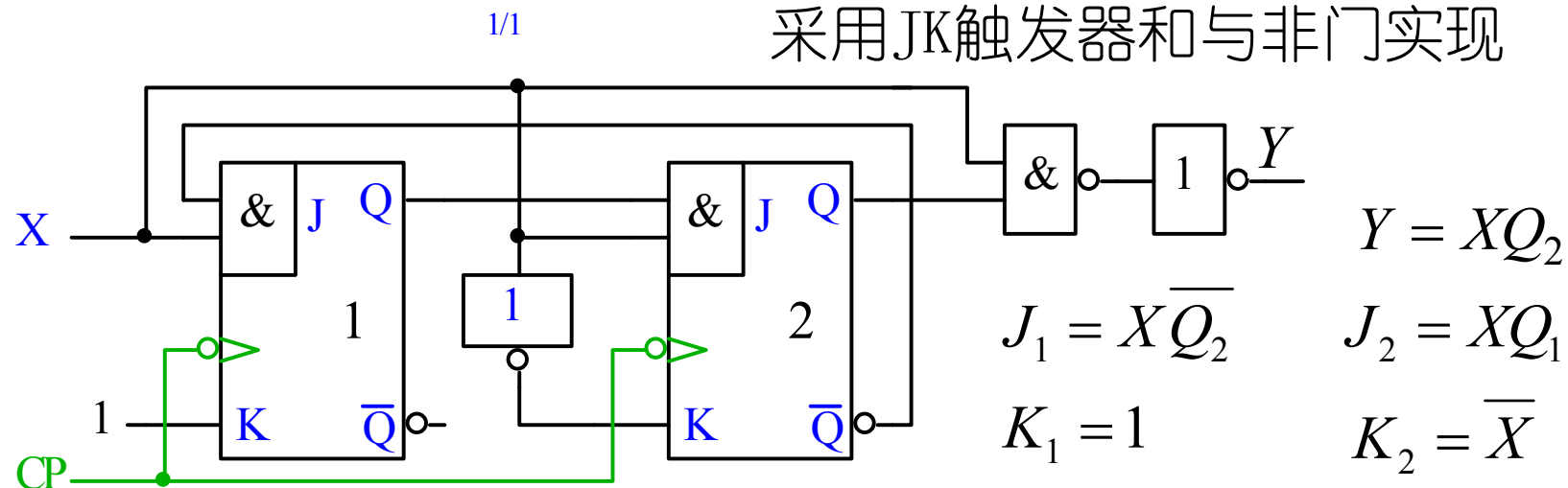
6、画出完全状态转换图



两个触发器共有四种完全状态，只用了其中三个状态，由于干扰等原因使触发器进入未指定状态11，在输入X的作用下电路状态自动进入主循环，所以叫做具有自启动特性。

7、画出逻辑电路图

采用JK触发器和与非门实现



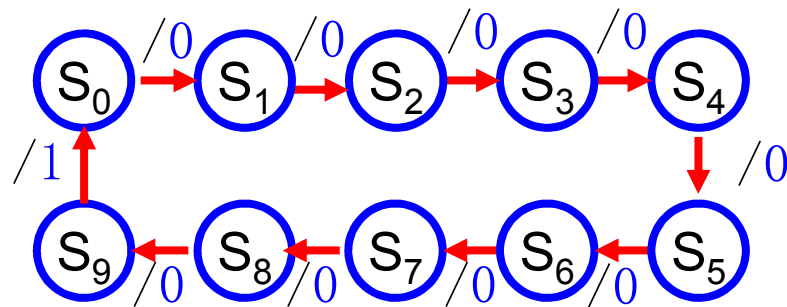
例2：用JK触发器设计BCD8421码二 - 十进制加法计数器

解：文字命题已明确告诉有十个状态，且逢十进一

(1) 建立状态转换图（表）

令 S_0 为初始状态，输入一个计数脉冲进 S_1 ，再输入一个CP进 S_2 ，……。当输入9个CP计数器计满值，第十个CP输入计数器返回初始 S_0 ，并输出一个进位脉冲信号

(2) 状态分配



由于计数 $M=10$ ， $2^3 < 10 < 2^4$

所以 $n=4$ （4个触发器）

$2^4=16$ 代码形式，取前十种赋值 $S_0 \sim S_9$ 。

令： $S_0=0000$ ，……， $S_9=1001$ 。



(3) 选择触发器类型，求激励函数及电路输出

Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	Q_4^{n+1}	Q_3^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Z
0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	1	1	0
0	0	1	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	0	0	1	1	1	0
0	1	1	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	0	1

Q_4^{n+1} Karnaugh map:

$Q_4 Q_3$	00	01	11	10
00			×	1
01			×	
11		1	×	×
10			×	×

Q_3^{n+1} Karnaugh map:

$Q_4 Q_3$	00	01	11	10
00		1	×	
01		1	×	
11	1		×	×
10		1	×	×

Q_2^{n+1} Karnaugh map:

$Q_4 Q_3$	00	01	11	10
00			×	
01	1	1	×	
11			×	×
10	1	1	×	×

Q_1^{n+1} Karnaugh map:

$Q_4 Q_3$	00	01	11	10
00	1	1	×	1
01			×	
11			×	×
10	1	1	×	×

Z Karnaugh map:

$Q_4 Q_3$	00	01	11	10
00			×	
01			×	1
11			×	×
10			×	×

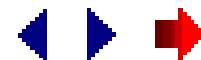
$$Q_4^{n+1} = \bar{Q}_1 Q_4 + Q_3 Q_2 Q_1$$

$$Q_3^{n+1} = Q_2 Q_1 \bar{Q}_3 + \bar{Q}_1 Q_3 + \bar{Q}_2 Q_3$$

$$Q_2^{n+1} = \bar{Q}_4 Q_1 \bar{Q}_2 + \bar{Q}_1 Q_2$$

$$Q_1^{n+1} = \bar{Q}_1$$

$$Z = Q_4 Q_1$$



(4) 检验是否有自启动能力

根据已求出的触发器激励函数，及输出Z，列出偏离状态1010~1111的状态真值表，分析偏离状态能否自动进入主循环。如能自动进入主循环，说明电路具有自启动能力。否则要修改设计。

(变设计为分析)

★ 偏离状态为1010→1111，根据已求出的触发器激励函数和Z，列出偏离状态转换真值表：

Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	J_4	K_4	J_3	K_3	J_2	K_2	J_1	K_1	Q_4^{n+1}	Q_3^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Z
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0
1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1

结论：是具有自启动能力二—十进制计数器。

$$J_1 = K_1 = 1$$

$$J_2 = \overline{Q_4}Q_1$$

$$K_2 = Q_1$$

$$J_3 = K_3 = Q_2Q_1$$

$$J_4 = Q_3Q_2Q_1$$

$$K_4 = Q_1$$

$$Z = Q_4Q_1$$

检查结果：偏离
状态都可以进入
主循环。

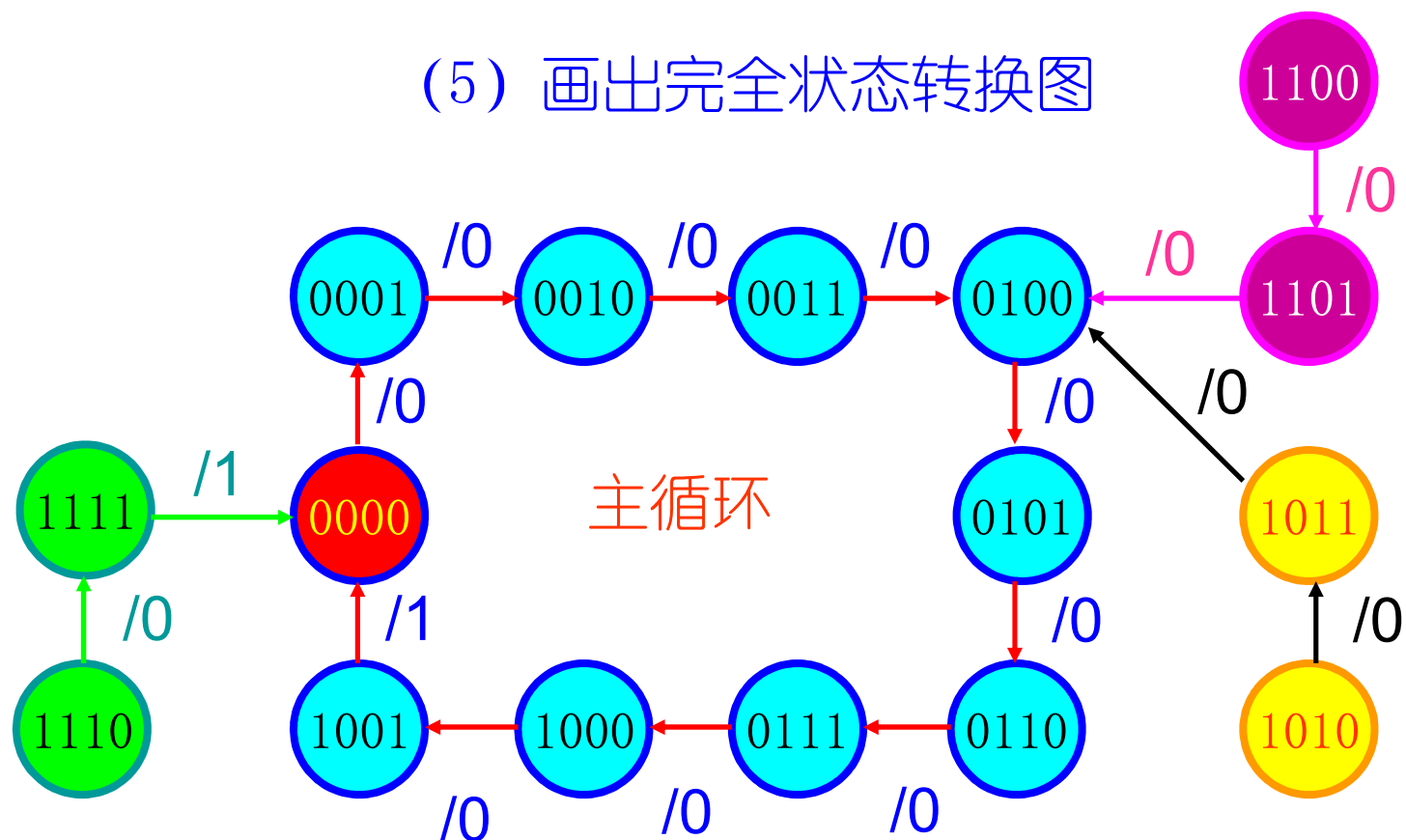
1010→1011→0100

1100→1101→0100

1110→1111→0000



(5) 画出完全状态转换图



(6) 画出逻辑电路图

(略)

