

# 数 字 逻 辑

# Digital Logic Circuit

丁 贤 庆

ahhfdxq@163.com

# 通知

- 1、考试时间：11月28号晚上
- 2、本周有第4次实验。
- 3、本次课的学习内容是必考内容。至少有10分左右的考题。
- 4、本次作业：

6.3.2

6.3.4

6.3.6

6.3.7

# 通知

## 1、考试题型：

单选，填空，卡诺图化简，

组合电路设计题、时序电路分析题、时序电路设计题、芯片的应用（74LS138, 74LS151, 74LS161）、**verilog**代码编写和分析，等等

## 2、第六章有30分左右的考题。

# 第6章 时序逻辑电路

## Sequential Logic Circuit

## 6.3 同步时序逻辑电路的设计（期末必考）

---

### 6.3.1 设计同步时序逻辑电路的一般步骤

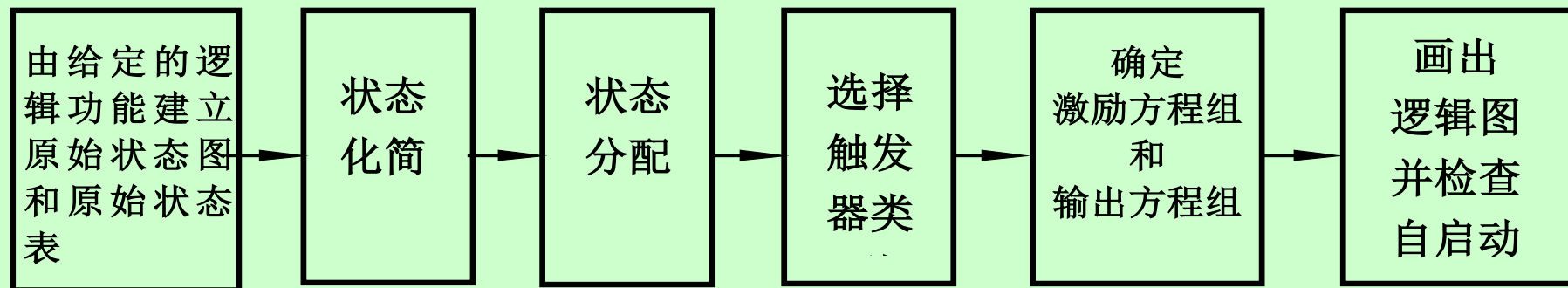
### 6.3.2 同步时序逻辑电路设计举例

## 6.3 同步时序逻辑电路的设计

同步时序逻辑电路的设计是分析的逆过程, 其任务是根据实际逻辑问题的要求, 设计出能实现给定逻辑功能的电路。

### 6.3.1 设计同步时序逻辑电路的一般步骤

同步时序电路的设计过程



## (1) 根据给定的逻辑功能建立原始状态图和原始状态表

①明确电路的输入条件和相应的输出要求，分别确定输入变量和输出变量的数目和符号。

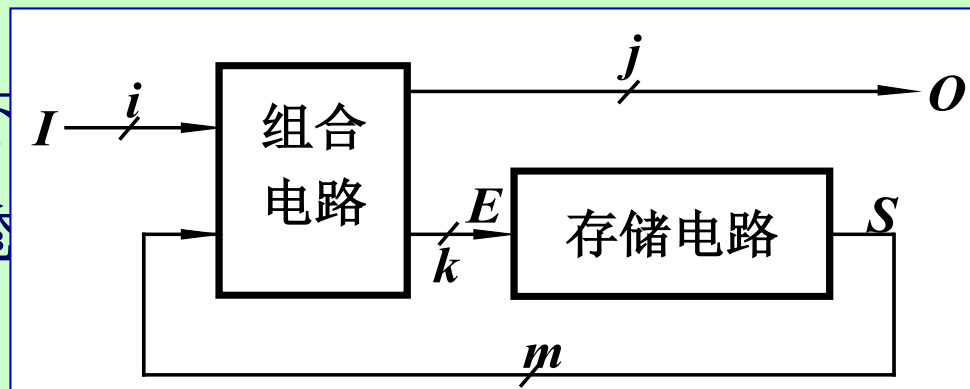
②找出所有可能的状态和状态转换之间的关系。

③根据原始状态图建立原始状态表。

## (2) 状态化简-----求出最简状态图；

合并等价状态，消去多余状态的过程称为状态化简

等价状态：在相同的输入下  
一个次态，这样的两个状态



(3)状态编码（状态分配）；

给每个状态赋以二进制代码的过程。

根据状态数确定触发器的个数，

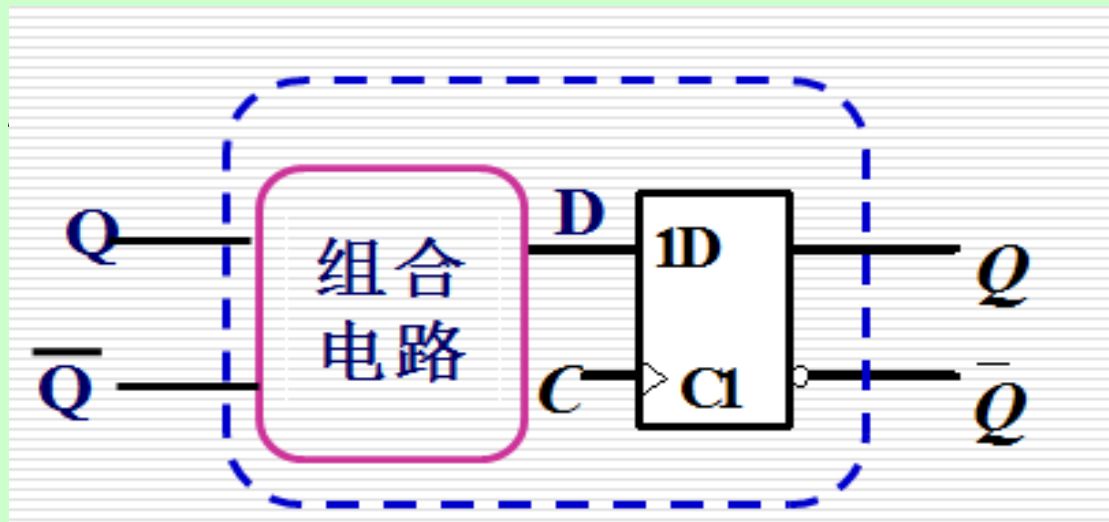
$$2^{n-1} < M \leq 2^n \quad (M: \text{状态数}; n: \text{触发器的个数})$$

(4)选择触发器的类型

(5)求出电路的激励方程和输出方程；

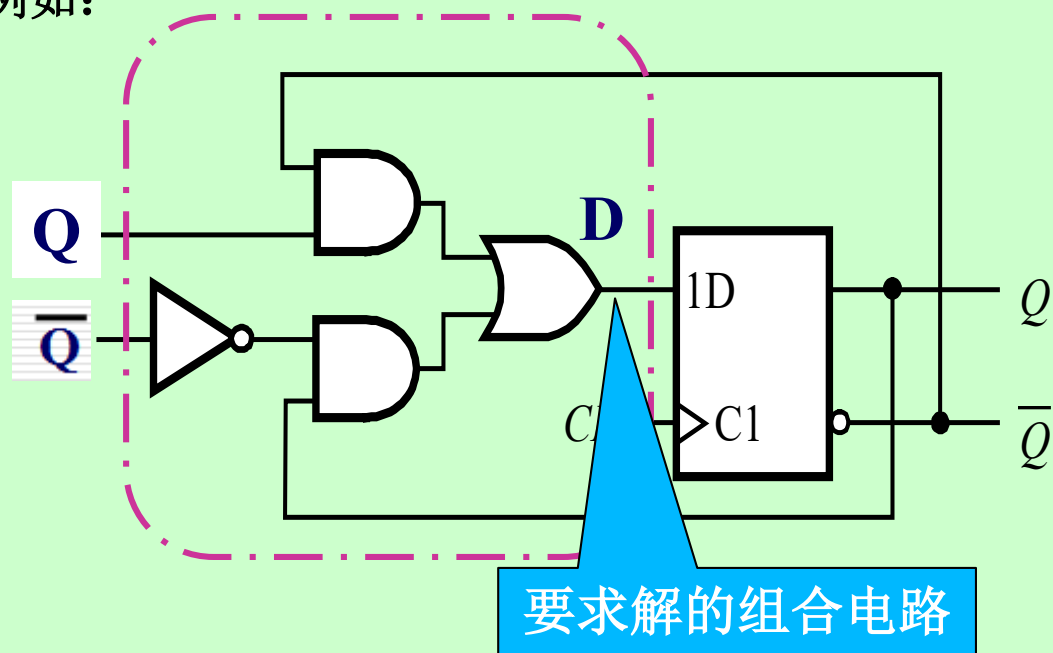
(6)画出逻辑图并检查自启动能力。

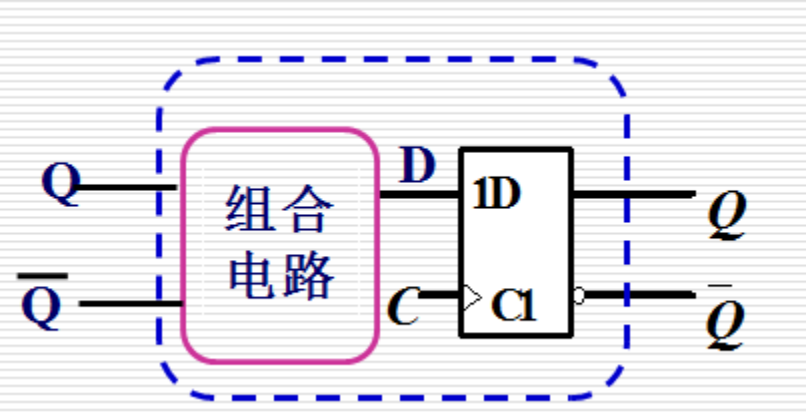




时序电路的设计  
最终要转换为组  
合电路的设计。

例如：

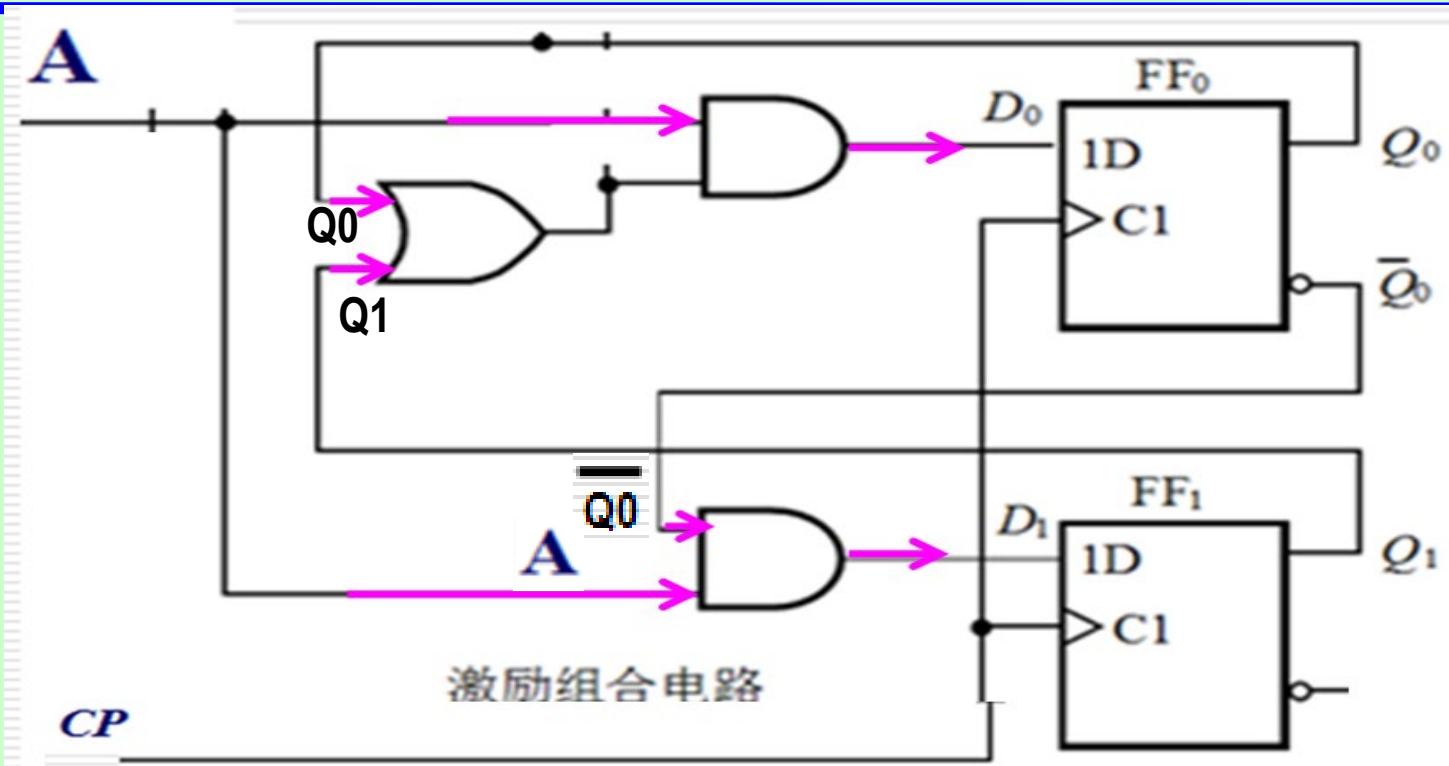




时序电路的设计最终要转换为组合电路的设计。例如此处如果知道 $D_1$ 和 $D_0$ 的表达式，就可以画出整个的时序电路。

如果将D触发器隐藏起来。

再来看看 $D_1$ ,  $D_0$ 与 $Q_1$ ,  $Q_0$ 之间的关系式。



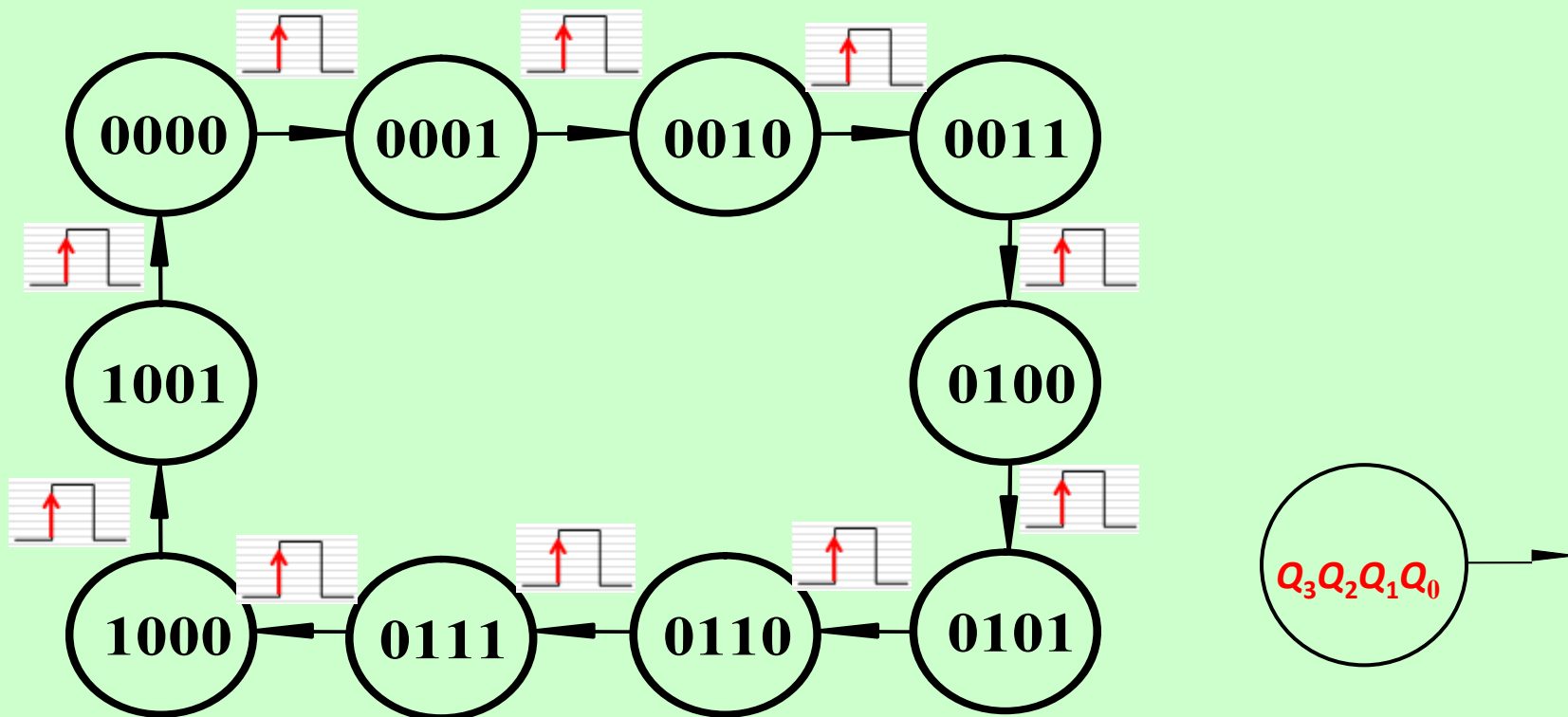
可以看出： $D_1$ 、 $D_0$ 是触发器现态 $Q_1$ 和 $Q_0$ 的函数。这个很关键。

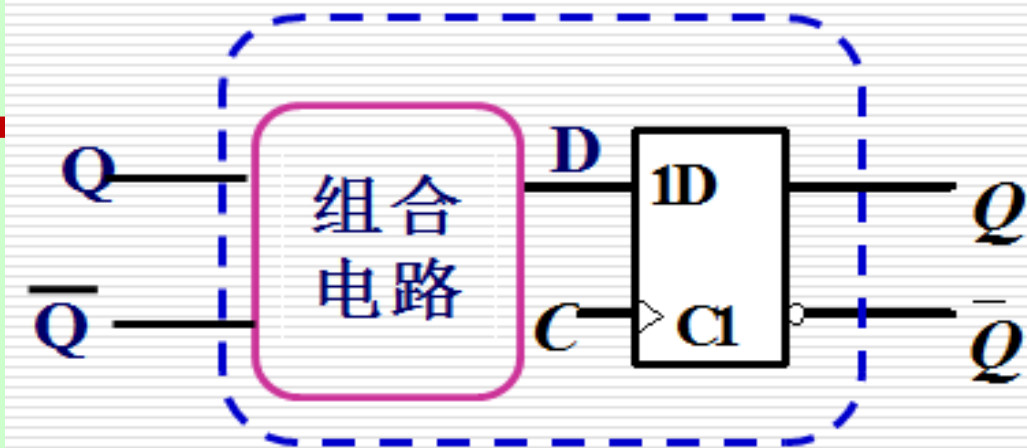
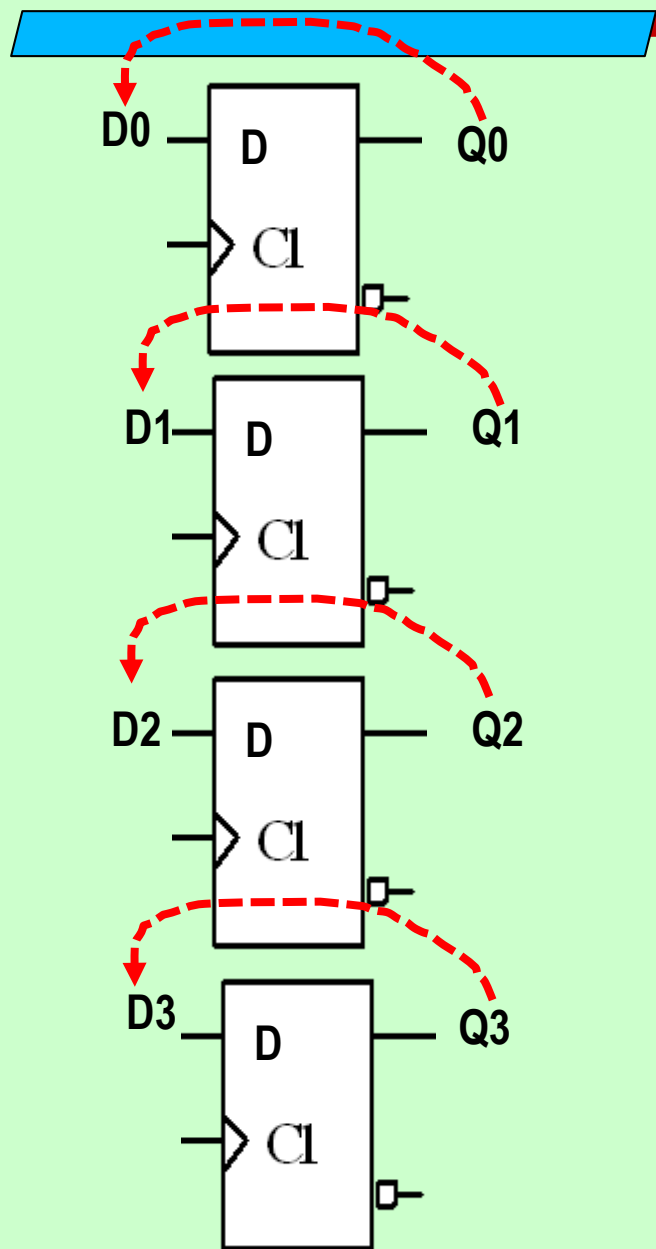
## 6.3.2 同步时序逻辑电路设计举例

例1 用D触发器设计一个8421 BCD码同步十进制加1计数器。

解答： **8421BCD码**：对于十进制数中的0---9中的每位用四位二进制数表示。

加1计数器：每次来一个脉冲，系统就加1。





计数脉冲CP的顺序	现 态				激励信号			
	$Q_3^n$	$Q_2^n$	$Q_1^n$	$Q_0^n$	$D_3$	$D_2$	$D_1$	$D_0$
0	0	0	0	0				
1	0	0	0	1				
2	0	0	1	0				
3	0	0	1	1				
4	0	1	0	0				
5	0	1	0	1				
6	0	1	1	0				
7	0	1	1	1				
8	1	0	0	0				
9	1	0	0	1				

## 6.3.2 同步时序逻辑电路设计举例

例1 用D触发器设计一个8421 BCD码同步十进制加计数器。

8421码同步十进制加计数器的状态表

计数脉冲CP的顺序	现 态				次 态			
	$Q_3^n$	$Q_2^n$	$Q_1^n$	$Q_0^n$	$Q_3^{n+1}$	$Q_2^{n+1}$	$Q_1^{n+1}$	$Q_0^{n+1}$
0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	1	1	0
6	0	1	1	0	0	1	1	1
7	0	1	1	1	1	0	0	0
8	1	0	0	0	1	0	0	1
9	1	0	0	1	0	0	0	0

## (2) 确定激励方程组

计数脉冲CP的顺序	现 态				次 态				激励信号			
	$Q_3^n$	$Q_2^n$	$Q_1^n$	$Q_0^n$	$Q_3^{n+1}$	$Q_2^{n+1}$	$Q_1^{n+1}$	$Q_0^{n+1}$	$D_3$	$D_2$	$D_1$	$D_0$
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
6	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1
7	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
8	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
9	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

## (2) 确定激励方程组

计数脉冲CP的顺序	现 态				次 态				输出信号			
	$Q_3^n$	$Q_2^n$	$Q_1^n$	$Q_0^n$	$Q_3^{n+1}$	$Q_2^{n+1}$	$Q_1^{n+1}$	$Q_0^{n+1}$	$D_3$	$D_2$	$D_1$	$D_0$
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
6	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1
7	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
8	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
9	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

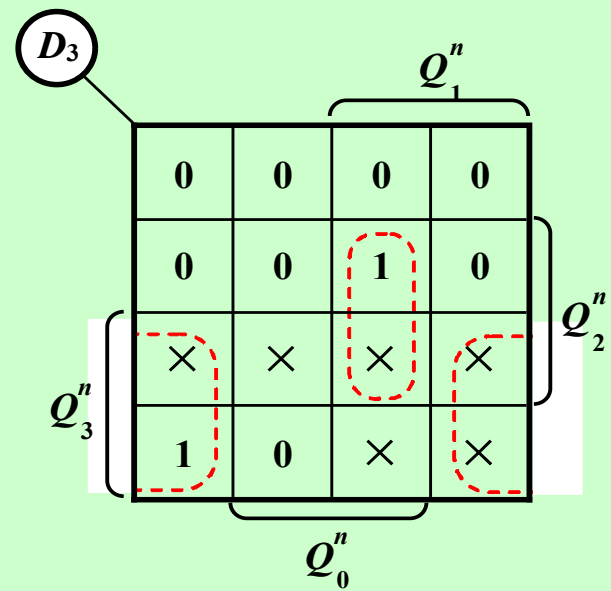
$D_3$ 、 $D_2$ 、 $D_1$ 、 $D_0$ 是触发器现态还是次态的函数？（具体见上页图形）

$D_3$ 、 $D_2$ 、 $D_1$ 、 $D_0$ 是触发器现态的函数

# 画出D3触发器激励信

10	1	0	1	0	1			
11	1	0	1	1	0			
12	1	1	0	0	1			
13	1	1	0	1	0			
14	1	1	1	0	1			
15	1	1	1	1	1			

计数脉冲CP的顺序	现 态				$D$			
	$Q_3^n$	$Q_2^n$	$Q_1^n$	$Q_0^n$				
0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	1	1	0
6	0	1	1	0	0	1	1	1
7	0	1	1	1	1	0	0	0
8	1	0	0	0	1	0	0	1
9	1	0	0	1	0	0	0	0



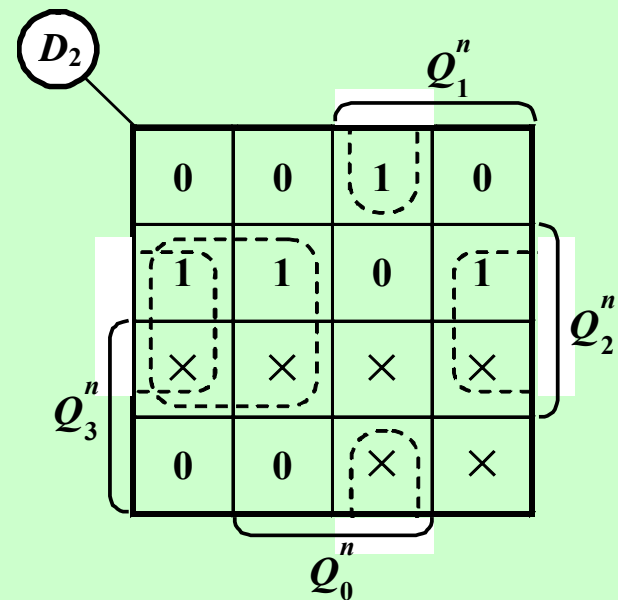
$$D_3 = \overline{Q_3^n} \overline{Q_0^n} + Q_2^n Q_1^n Q_0^n$$



# 画出D2触发器激励信号的卡诺图

计数脉冲CP的顺序	现 态				输出值 $D_2$
	$Q_3^n$	$Q_2^n$	$Q_1^n$	$Q_0^n$	
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	1
4	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	0
8	1	0	0	0	0
9	1	0	0	1	0

10	1	0	1	0	0		
11	1	0	1	1	1		
12	1	1	0	0	1		
13	1	1	0	1	1		
14	1	1	1	0	1		
15	1	1	1	1	0		

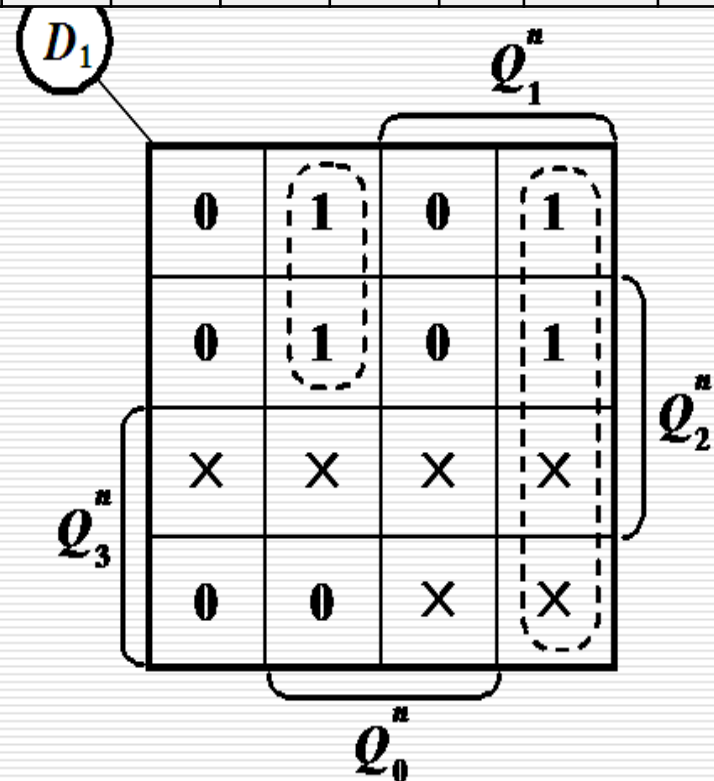


$$D_2 = \overline{Q_2^n} \overline{Q_1^n} + \overline{Q_2^n} Q_0^n + \overline{Q_2^n} Q_1^n Q_0^n$$

# 画出D1触发器激励信号的卡诺图

计数脉冲CP的顺序	现 态				输出信号 $D_1$
	$Q_3^n$	$Q_2^n$	$Q_1^n$	$Q_0^n$	
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	1
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	0
8	1	0	0	0	0
9	1	0	0	1	0

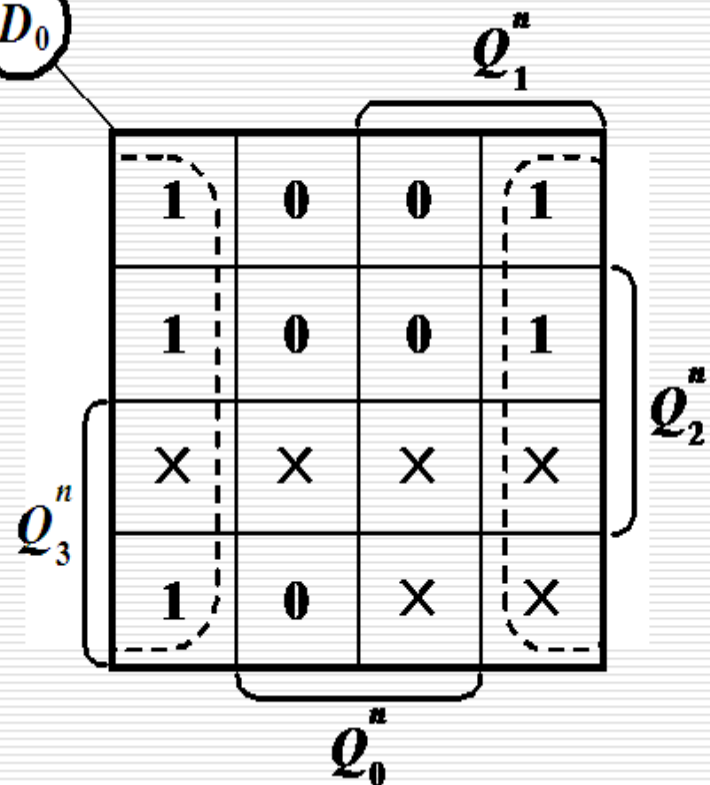
10	1	0	1	0			1
11	1	0	1	1			0
12	1	1	0	0			0
13	1	1	0	1			0
14	1	1	1	0			1
15	1	1	1	1			0



$$D_1 = Q_1^n \overline{Q_0^n} + Q_3^n \overline{Q_1^n} Q_0^n$$

# 画出D0触发器激励信号的卡诺图

$D_0$



$$D_0 = \overline{Q_0^n}$$

电路

计数脉冲CP的顺序	现 态				输出信号
	$Q_3^n$	$Q_2^n$	$Q_1^n$	$Q_0^n$	
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	1
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	0
8	1	0	0	0	0
9	1	0	0	1	0

10	1	0	1	0			1	
11	1	0	1	1			0	
12	1	1	0	0			1	
13	1	1	0	1			0	
14	1	1	1	0			1	
15	1	1	1	1			0	

## 画出逻辑图

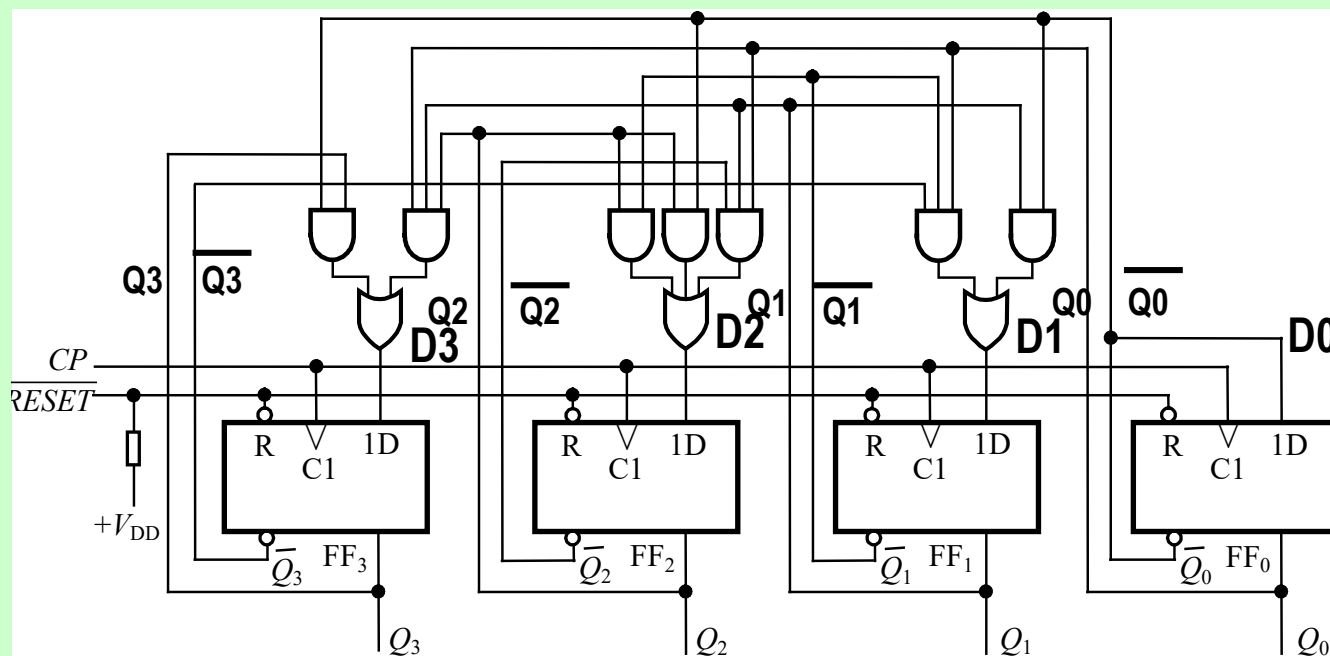
时序电路的设计最终要转换为组合电路的设计。例如此处知道D3、D2、D1和D0的表达式，就可以画出整个的时序电路。

$$D_3 = Q_3^n \overline{Q_0^n} + \overline{Q_2^n} Q_1^n Q_0^n$$

$$D_2 = Q_2^n \overline{Q_1^n} + \overline{Q_2^n} \overline{Q_0^n} + \overline{Q_2^n} Q_1^n Q_0^n$$

$$D_1 = Q_1^n \overline{Q_0^n} + \overline{Q_3^n} \overline{Q_1^n} Q_0^n$$

$$D_0 = \overline{Q_0^n}$$

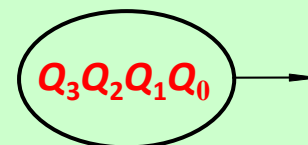
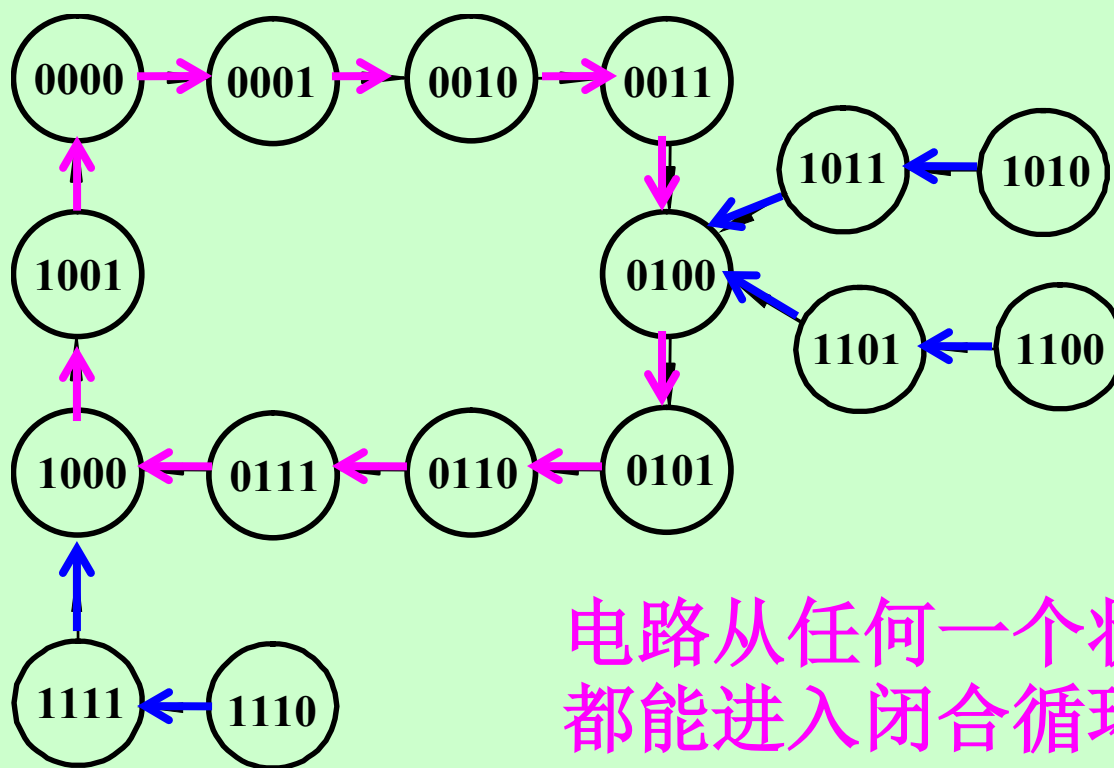


# 画出完全状态转换表

计数脉冲CP的顺序	现 态				次 态				输出信号			
	$Q_3^n$	$Q_2^n$	$Q_1^n$	$Q_0^n$	$Q_3^{n+1}$	$Q_2^{n+1}$	$Q_1^{n+1}$	$Q_0^{n+1}$	$D_3$	$D_2$	$D_1$	$D_0$
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
6	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1
7	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
8	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
9	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1
11	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0
12	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1
13	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
14	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0

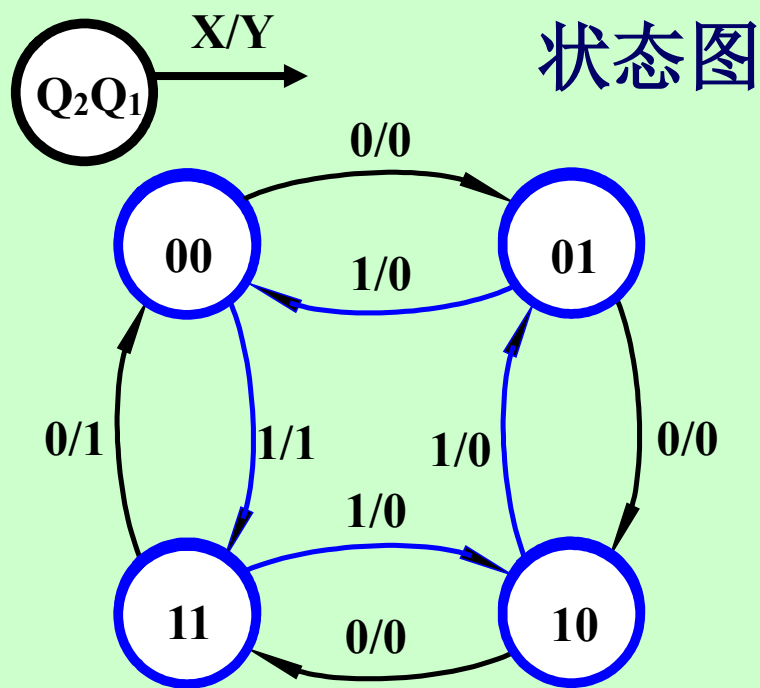
### (3) 画出逻辑图，并检查自启动能力（找出闭合回路）

画出完全状态图



电路从任何一个状态启动  
都能进入闭合循环圈中，  
所以，电路具有自启动能力。

思考：已知一个**同步时序电路**的状态转换图如图所示，请选用**D触发器**设计该时序电路。画出状态转换表，写出激励方程，画出**电路对应的逻辑图**。怎么设计？



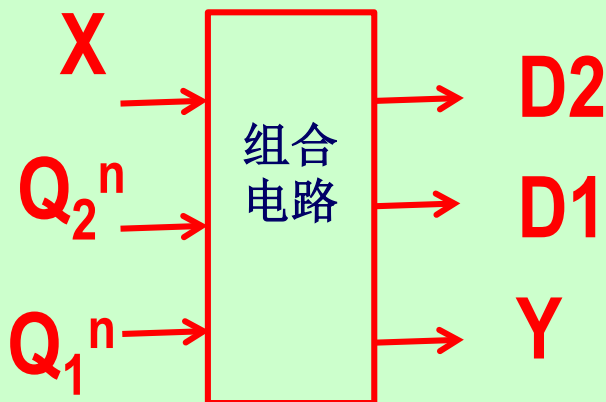
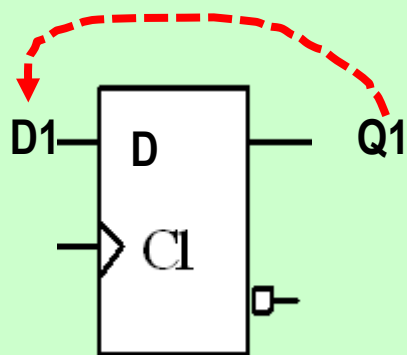
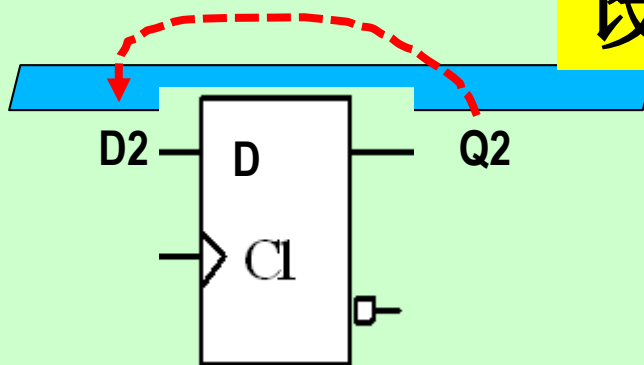
$$Q_2^n \quad Q_1^n$$

$$X / Y$$

# 设计思路提示

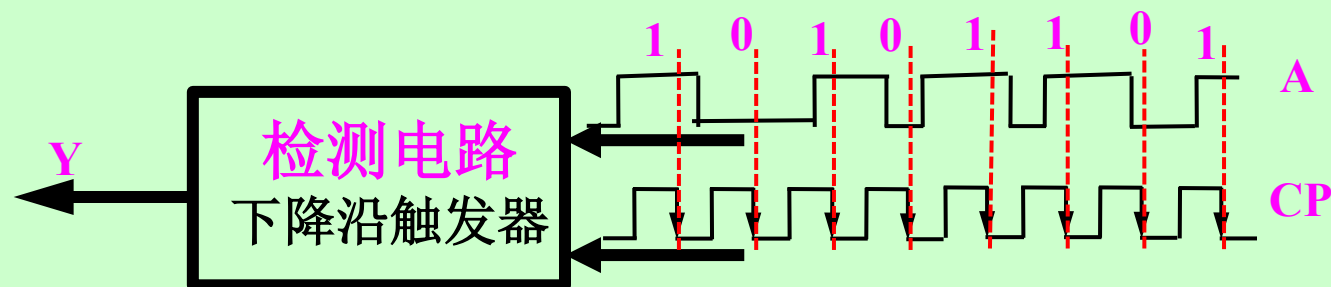
## 状态转换真值表

现 态		输 入	次 态		输 出	激励信号	
$Q_2^n$	$Q_1^n$	$X$	$Q_2^{n+1}$	$Q_1^{n+1}$	$Y$	$\overline{D_2}$	$\overline{D_1}$
0	0	0			0	0	1
0	0	1			1	1	1
0	1	0			0	1	0
0	1	1			0	0	1
1	0	0			0	1	1
1	0	1			0	0	1
1	1	0			1	0	0
1	1	1			0	1	0





例2：设计一个串行数据检测器。电路的输入信号A是与时钟脉冲同步的串行数据，输出信号为Y；要求电路输入信号A出现110序列时，输出信号Y为1，否则为0。采用JK触发器。



通过A端随机输入一串数：

A: 011001110

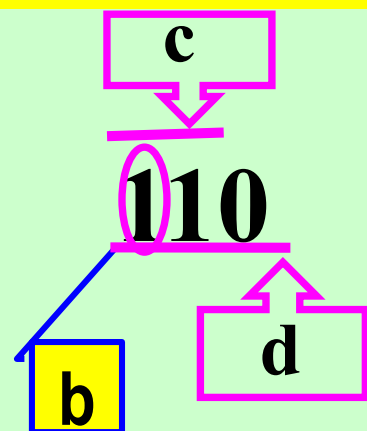
Y: 000100001

被测序列可重叠

## 例2

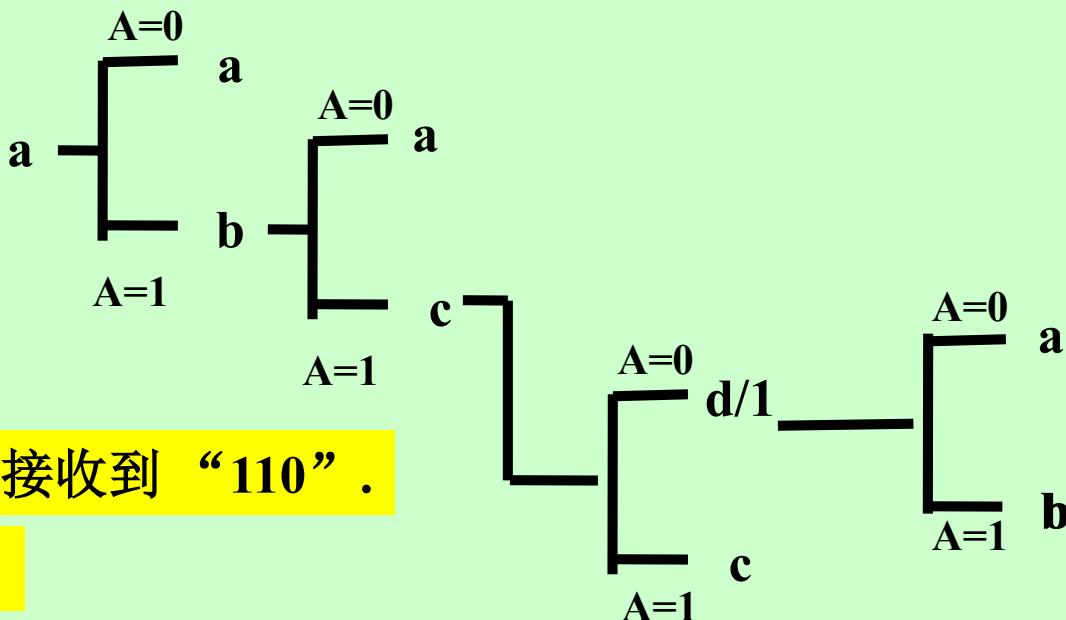
设计110序列检测器（一个输入端A、一个输出端Y）

状态c表示接收到“11”。



状态d表示接收到“110”。

状态b表示接收到一个“1”。



解：(1) 根据给定的逻辑功能建立原始状态图和原始状态表

1.) 确定输入、输出变量及电路的状态数：

输入变量：A      输出变量：Y      状态数：4个

2.) 定义输入、输出逻辑状态和每个电路状态的含义；

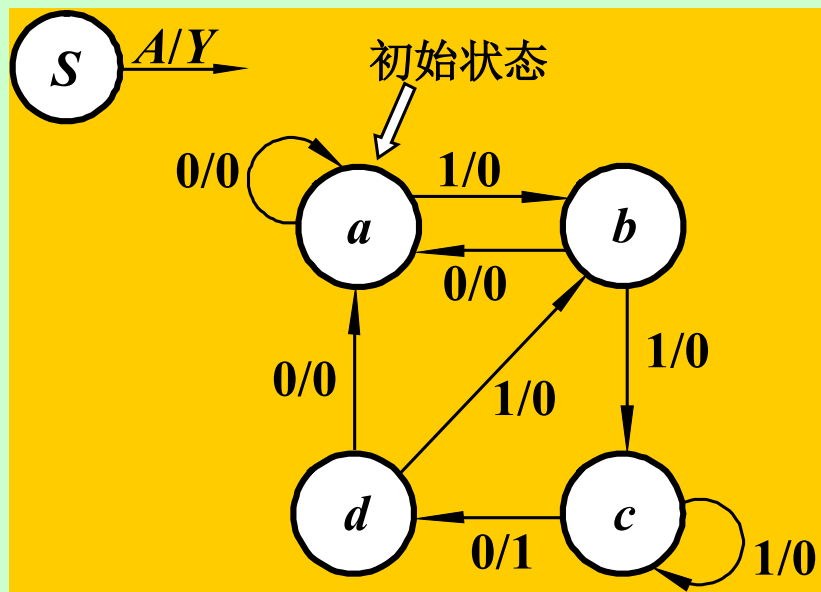
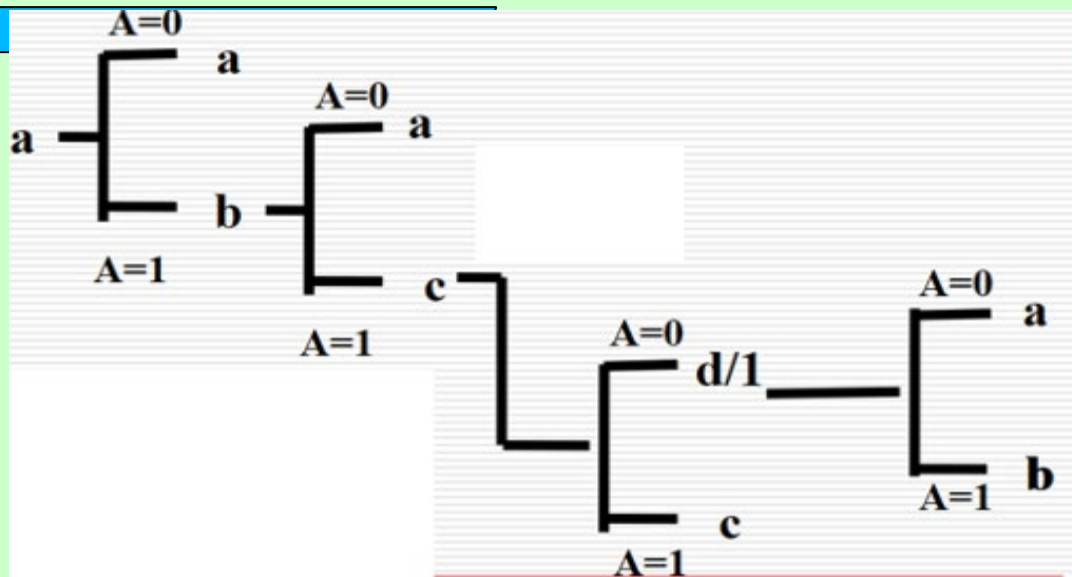
a —— 初始状态；

b —— A输入1后；

c —— A输入11后；

d —— A输入110后。

## (2) 列出原始状态转换表

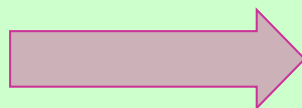


现态	次态/输出	
	A=0	A=1
a	a / 0	b / 0
b	a / 0	c / 0
c	d / 1	c / 0
d	a / 0	b / 0

## 2. 状态化简(找出等价状态, 消去)

合并等价状态, 消去多余状态的过程称为状态化简

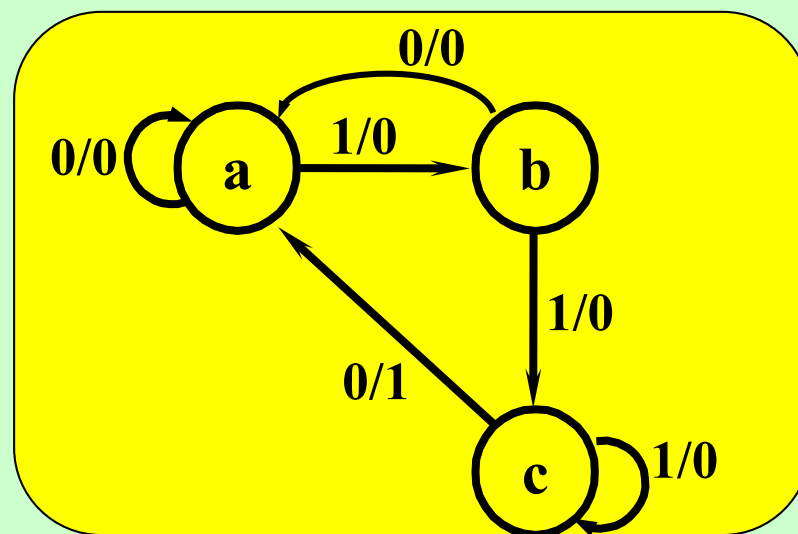
现态	次态/输出	
	A=0	A=1
a	a / 0	b / 0
b	a / 0	c / 0
c	d / 1	c / 0
d	a / 0	b / 0



现态	次态 / 输出	
	A=0	A=1
a	a / 0	b / 0
b	a / 0	c / 0
c	a / 1	c / 0

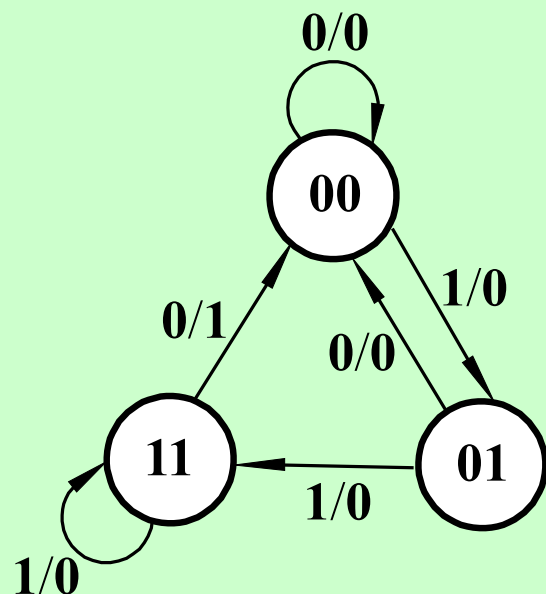
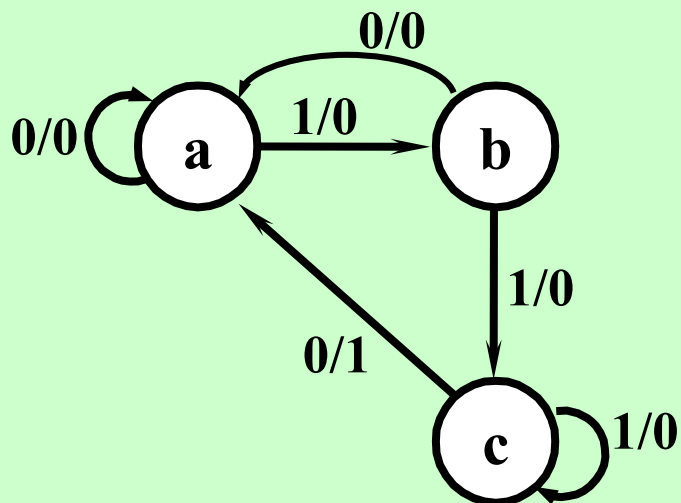


**等价状态:** 在相同的输入下有相同的输出, 并转换到同一个次态, 这样的两个状态称为**等价状态**。



### (3) 状态分配

令  $a = 00$ ,  $b = 01$ ,  $c = 11$ ,



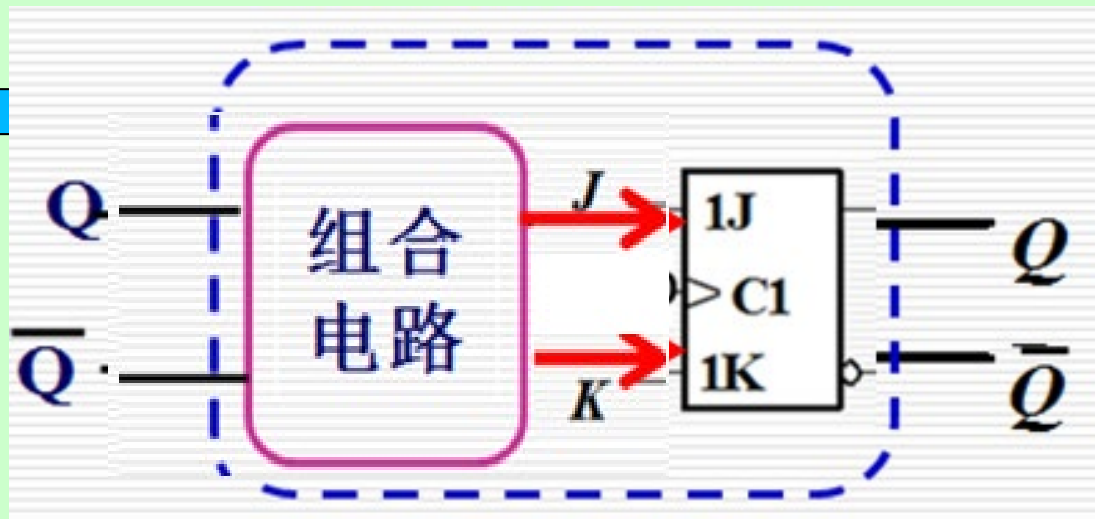
### (4) 选择触发器的类型

触发器个数：两个。

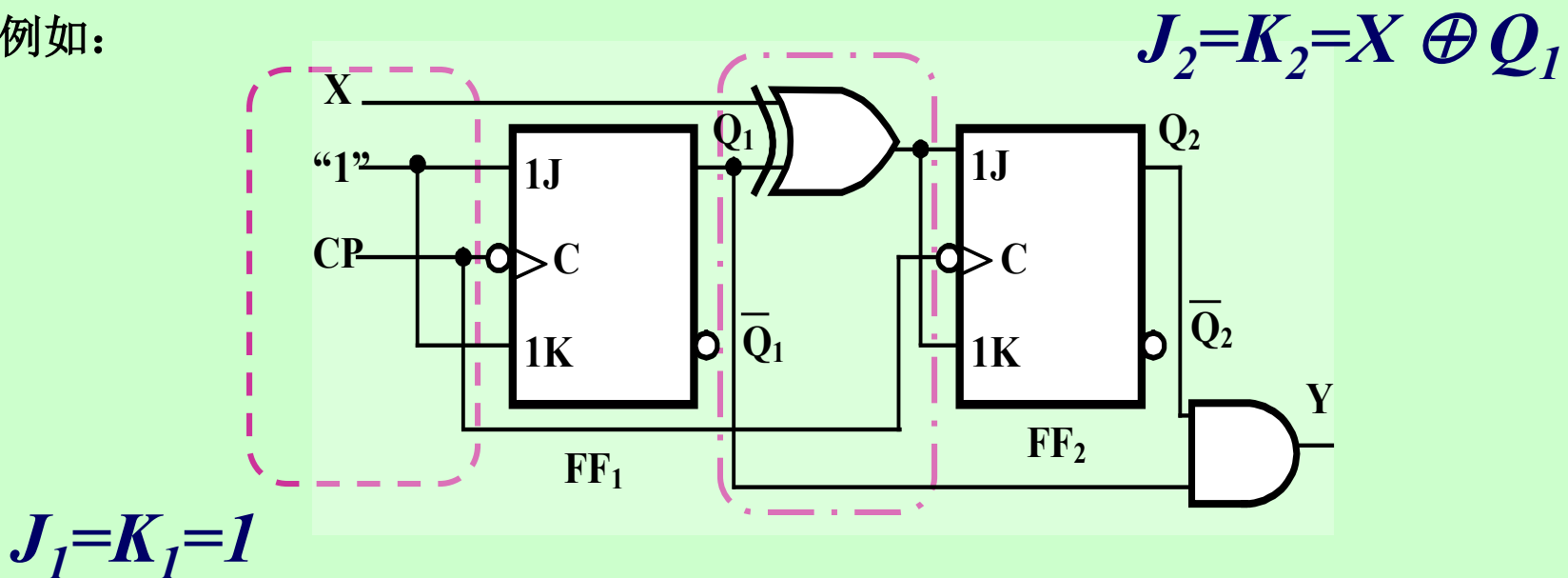
类型：采用对  $CP$  下降沿敏感的

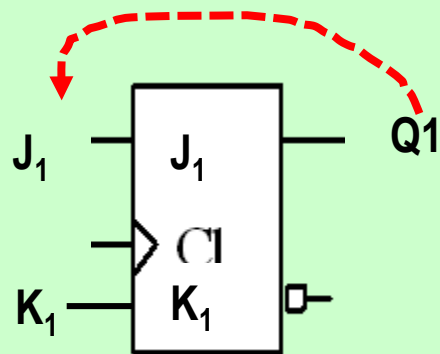
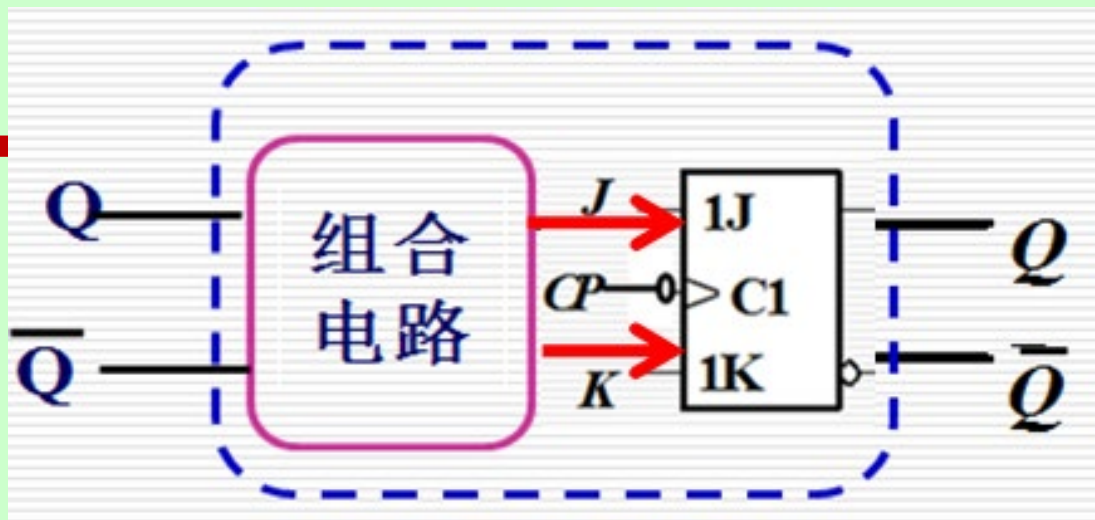
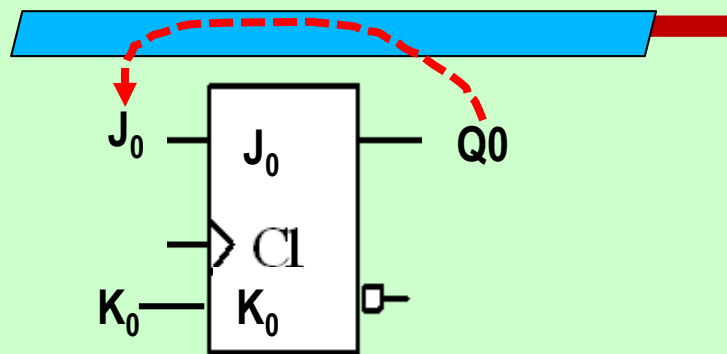
**$JK$  触发器。**

现态 $Q_1Q_0$	$Q_1^{n+1} Q_0^{n+1} / Y$	
	A=0	A=1
00	00 / 0	01 / 0
01	00 / 0	11 / 0
11	00 / 1	11 / 0



例如：





$Q_1^n$	$Q_0^n$	$A$	激励信号			
			$J_1$	$K_1$	$J_0$	$K_0$
0	0	0				
0	0	1				
0	1	0				
0	1	1				
1	1	0				
1	1	1				

找J0、K0、J1、K1对应的表达式

# JK 触发器

## 1. 特性表

$J$	$K$	$Q^n$	$Q^{n+1}$	说 明
0	0	0	0	状态不变
0	0	1	1	
0	1	0	0	置 0
0	1	1	0	
1	0	0	1	置 1
1	0	1	1	
1	1	0	1	翻 转
1	1	1	0	

## 2. 激励表

$Q^n$	$Q^{n+1}$	$J$	$K$
0	0	0	×
0	1	1	×
1	0	×	1
1	1	×	0



(5) 求激励方程和输出方程

激励表

$Q^n$	$Q^{n+1}$	$J$	$K$
0	0	0	×
0	1	1	×
1	0	×	1
1	1	×	0

现态 $Q_1Q_0$	$Q_1^{n+1} Q_0^{n+1} / Y$	
	A=0	A=1
00	00 / 0	01 / 0
01	00 / 0	11 / 0
11	00 / 1	11 / 0

状态转换真值表及激励信号

$Q_1^n$	$Q_0^n$	$A$	$Q_1^{n+1}$	$Q_0^{n+1}$	$Y$	激励信号			
						$J_1$	$K_1$	$J_0$	$K_0$
0	0	0	0	0	0	0	×	0	×
0	0	1	0	1	0	0	×	1	×
0	1	0	0	0	0	0	×	×	1
0	1	1	1	1	0	1	×	0	×
1	1	0	0	0	1	×	1	×	1
1	1	1	1	1	0	×	0	×	0

求激励方程的第一种方法

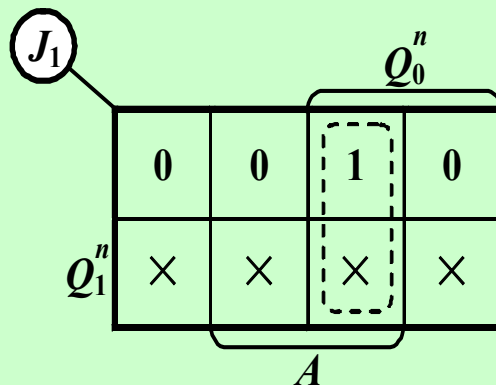
数字逻辑电路

卡诺图化简得

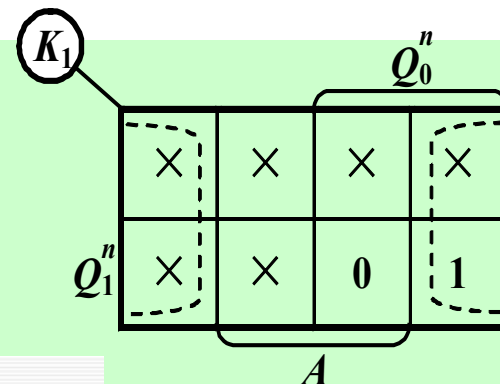
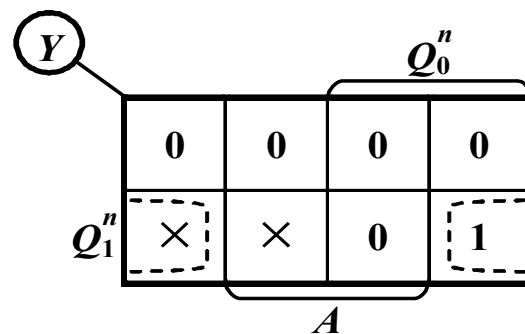
输出方程

$$Y = Q_1 \bar{A}$$

激励方程



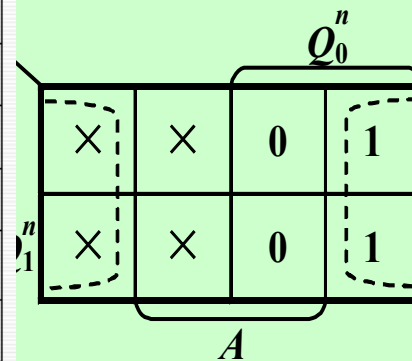
$$J_1 = Q_0 A$$



$$K_1 = \bar{A}$$

状态转换真值表及激励信号

$Q_1^n$	$Q_0^n$	$A$	$Y$	激励信号			
				$J_1$	$K_1$	$J_0$	$K_0$
0	0	0	0	0	×	0	×
0	0	1	0	0	×	1	×
0	1	0	0	0	×	×	1
0	1	1	0	1	×	0	×
1	1	0	1	×	1	×	1
1	1	1	0	×	0	×	0



$$K_0 = \bar{A}$$

求激励方程的第一种方法

## (6) 根据激励方程和输出方程画出逻辑图,并检查自启动能力

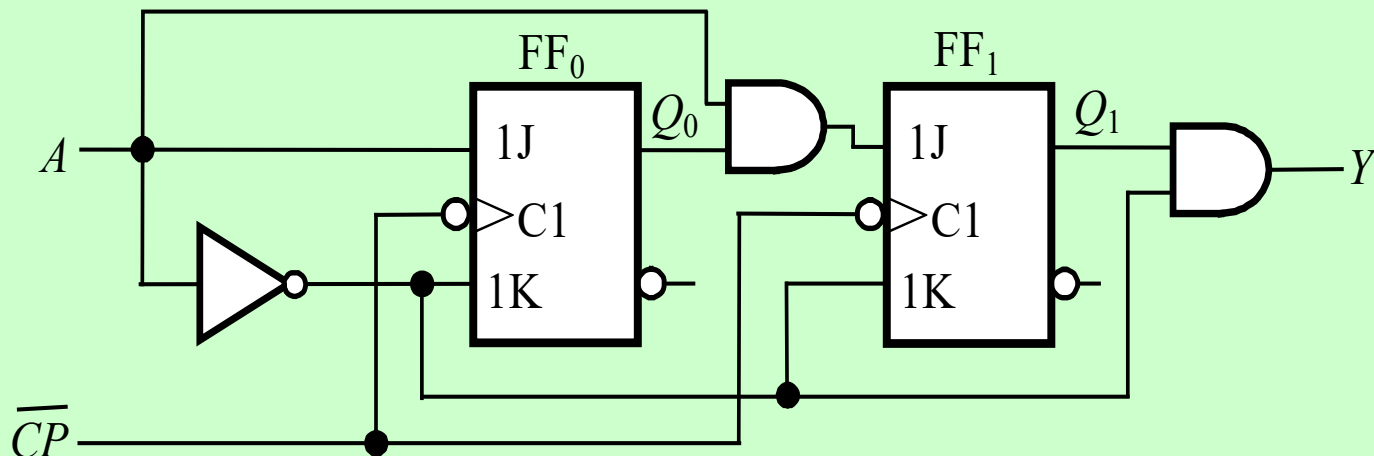
激励方程

$$J_1 = Q_0 A \quad K_1 = \bar{A}$$

$$J_0 = A \quad K_0 = \bar{A}$$

输出方程

$$Y = Q_1 \bar{A}$$



检查自启动能力和输出是否只有一处输出为1.

画出完全状态转换表

当  $Q_1 Q_0 = 10$  时

$$Q^{n+1} = J\bar{Q}^n + \bar{K}Q^n$$

$$J_1 = Q_0 A \quad K_1 = \bar{A}$$

$$J_0 = A \quad K_0 = \bar{A}$$

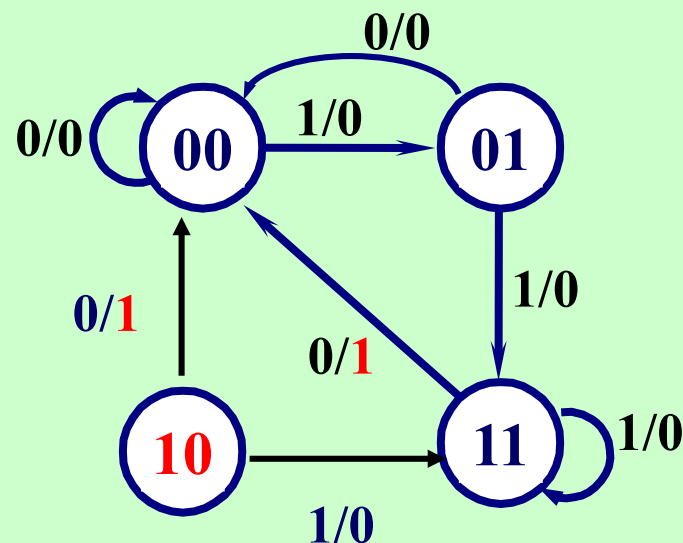
$$A=0 \quad Q_1^{n+1} Q_0^{n+1} = 00 \quad Y = 1$$

$$A=1 \quad Q_1^{n+1} Q_0^{n+1} = 11 \quad Y = 0$$

输出方程

$$Y = Q_1 \bar{A} \Rightarrow Y = Q_1 Q_0 \bar{A}$$

现态 $Q_1 Q_0$	$Q_1^{n+1} Q_0^{n+1} / Y$	
	A=0	A=1
00	00 / 0	01 / 0
01	00 / 0	11 / 0
11	00 / 1	11 / 0
10	00 / 1	11 / 0



能自启动

# 求激励方程的第一种方法

Y卡诺图化简得

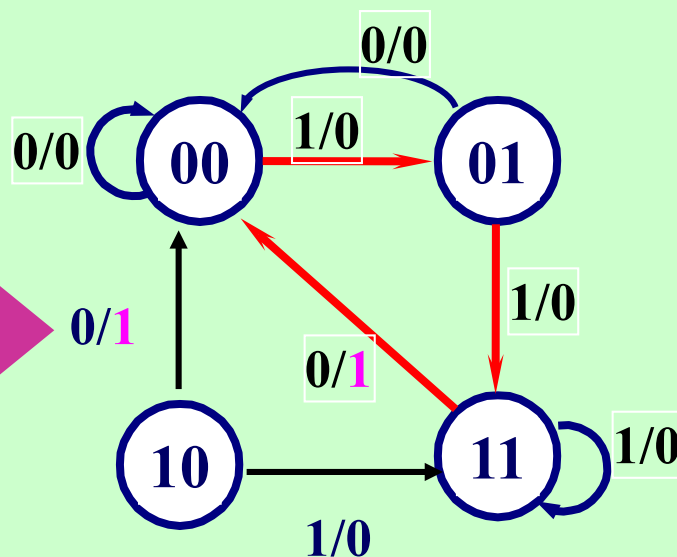
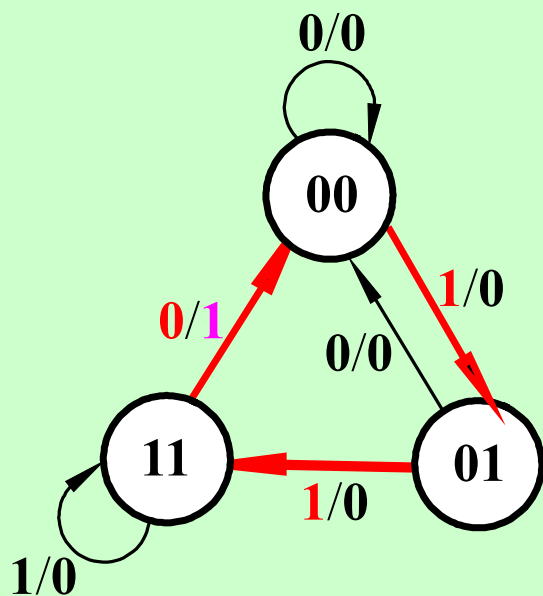
输出方程

$$Y = Q_1 \overline{A}$$

Y卡诺图

		$Q_0''$	
		0	0
$Q_1''$	0	1	×
	1	0	1
		$A$	

Y卡诺图中有两个地方出现了1.使输出1指代不明。要修订。



修改电路

输出方程  $Y = Q_1 \bar{A}$  ➡

卡诺图化简去掉无关项

$$Y = Q_1 Q_0 \bar{A}$$

	$Q_0^n$			
	0	0	0	0
$Q_1^n$	0	×	0	1
	$A$			

