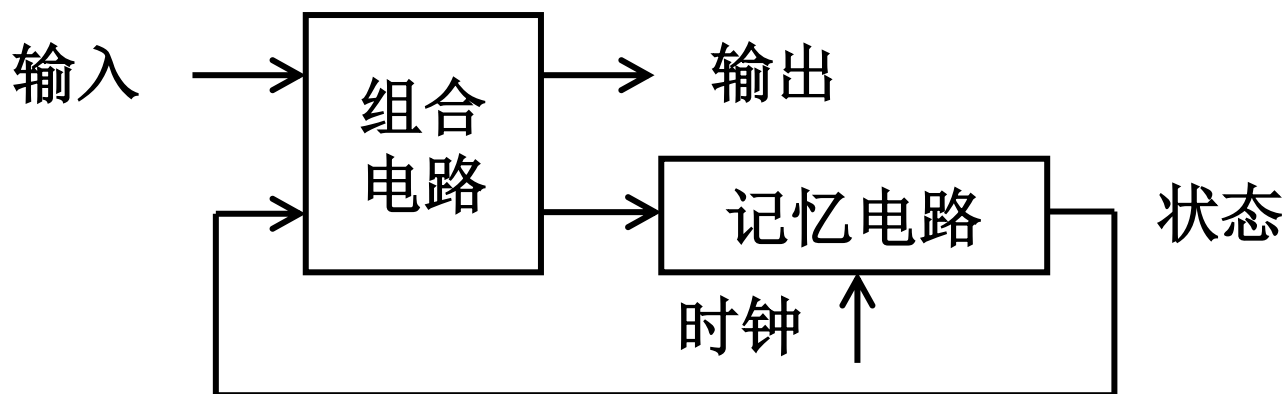


内容提纲

- 时序电路的分类
- 时序电路的描述方式
- 同步时序电路的分析方法

时序电路的分类

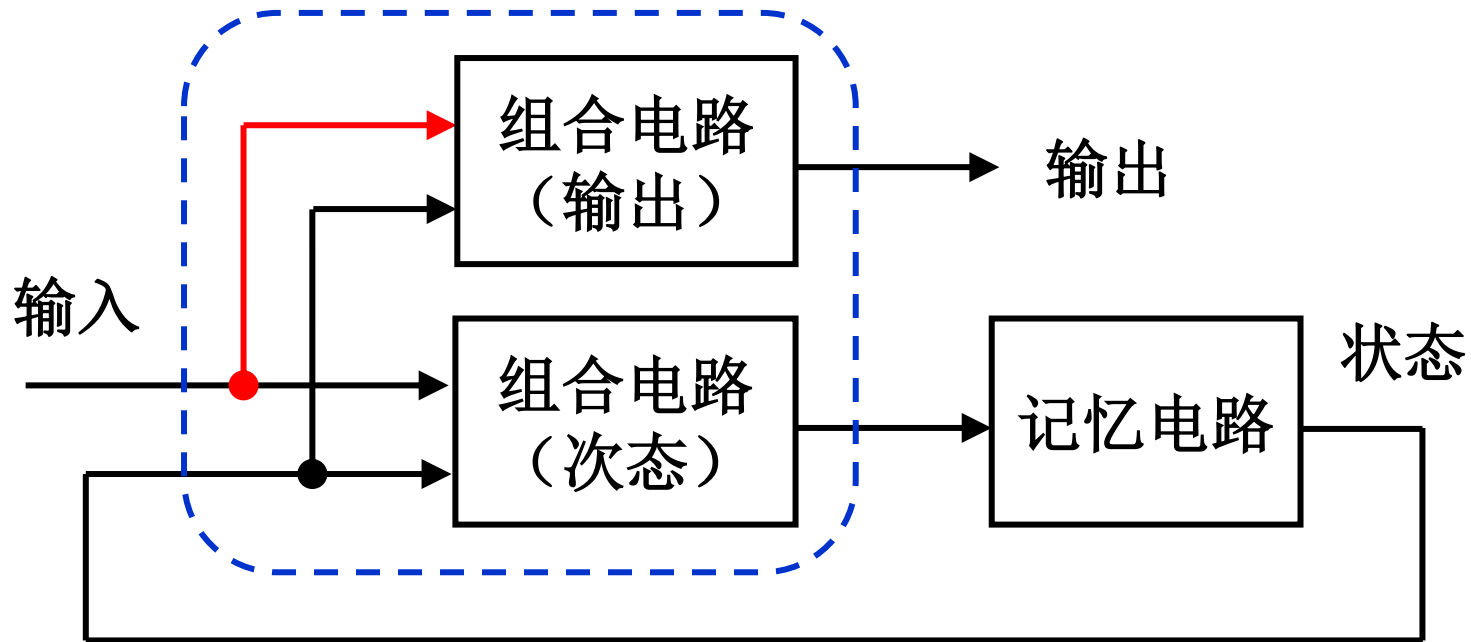
- 根据记忆电路状态更新的特点，时序电路分为同步时序电路和异步时序电路



- 同步时序电路：所有记忆电路由统一的时钟信号控制，它们的状态在同一时刻更新
- 异步时序电路：没有统一的时钟信号或没有时钟信号，记忆电路的状态更新不是同时发生的

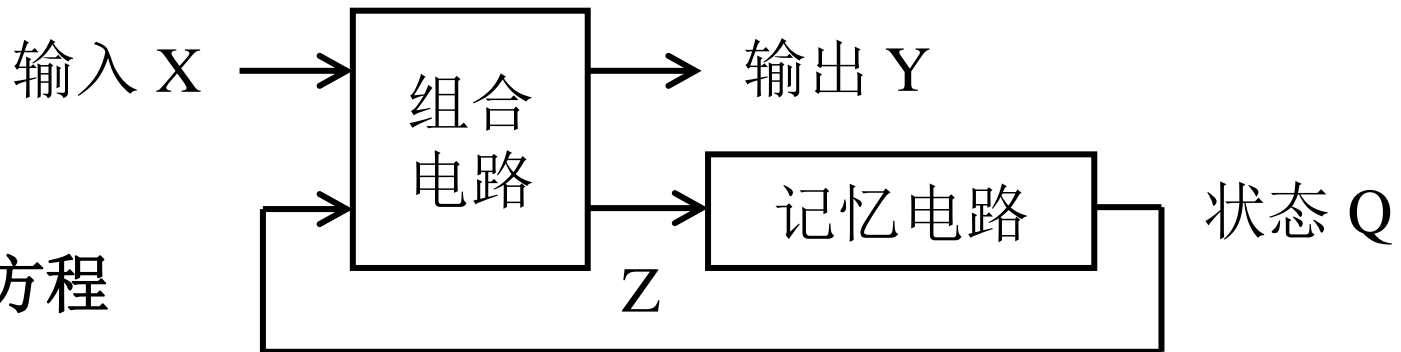
米里型和摩尔型时序电路

- 米利 (Mealy)型：输出是输入和状态的函数
- 穆尔 (Moore)型：输出仅是状态的函数



时序电路的描述方式

- 逻辑方程、状态转换表（状态表）、状态转换图（状态图）、时序波形图（时序图）、**HDL描述**
 - 不同描述方式是等价的，可以相互转换



- 逻辑方程

激励方程: $Z = f_1(X, Q)$

状态方程: $Q^{n+1} = f_2(Z, Q^n)$

输出方程: $Y = f_3(X, Q)$ ---- Mealy型

$Y = f_4(Q)$ ---- Moore型

逻辑方程和状态表

激励方程: $Z = f_1(X, Q)$

状态方程: $Q^{n+1} = f_2(Z, Q^n)$

输出方程: $Y = f_3(X, Q)$ ---- Mealy型

$Y = f_4(Q)$ ---- Moore型

状态表(Mealy型)

Q^n	Q^{n+1}/Y	
	$X=i$	$X=j$
...	.../...	.../...

状态表(Moore型)

Q^n	Q^{n+1}		Y
	$X=i$	$X=j$	
...

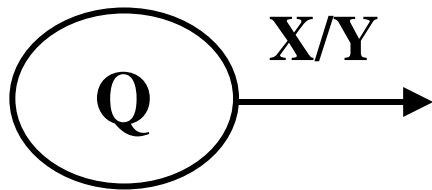
状态图

激励方程: $Z = f_1(X, Q)$

状态方程: $Q^{n+1} = f_2(Z, Q^n)$

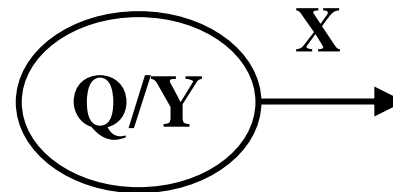
输出方程: $Y = f_3(X, Q)$ ---- Mealy型

$Y = f_4(Q)$ ---- Moore型



状态图(米利型)

状态Q转换到另一个, 同时输出Y变化, 两个都受到X直接影响



状态图(穆尔型)

状态Q转换到另一个, 在某个状态下Q值确定, 与当前输入X无关, 只有Q直接受到X影响

示例1—时序电路描述方式

- 逻辑方程

输出方程

$$Y = (Q_0 + Q_1)\bar{X}$$

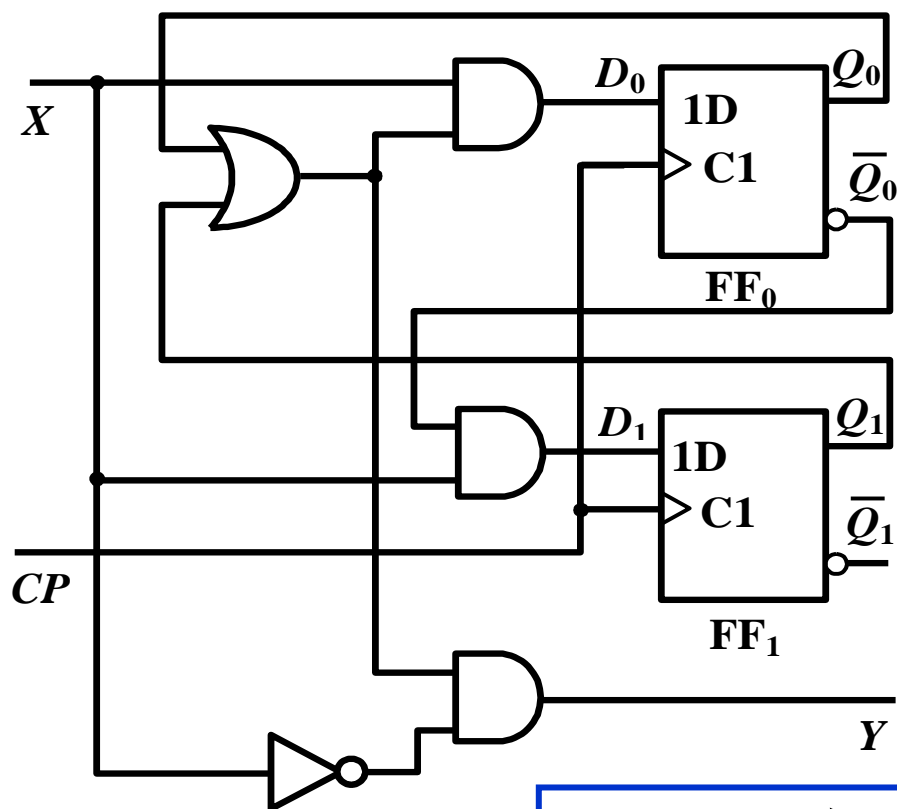
激励方程

$$D_1 = \bar{Q}_0 X$$

$$D_0 = (Q_0 + Q_1)X$$

状态方程

$$Q_1^{n+1} = \bar{Q}_0^n X, \quad Q_0^{n+1} = (Q_0^n + Q_1^n)X$$



Mealy型
时序电路

示例1—时序电路描述方式(续1)

- 状态表

$Q_1^n Q_0^n$	$Q_1^{n+1} Q_0^{n+1} / Y$	
	X=0	X=1
0 0	0 0 / 0	1 0 / 0
0 1	0 0 / 1	0 1 / 0
1 0	0 0 / 1	1 1 / 0
1 1	0 0 / 1	0 1 / 0

$$Q_1^{n+1} = \overline{Q_0^n} X$$

$$Q_0^{n+1} = (Q_0^n + Q_1^n) X$$

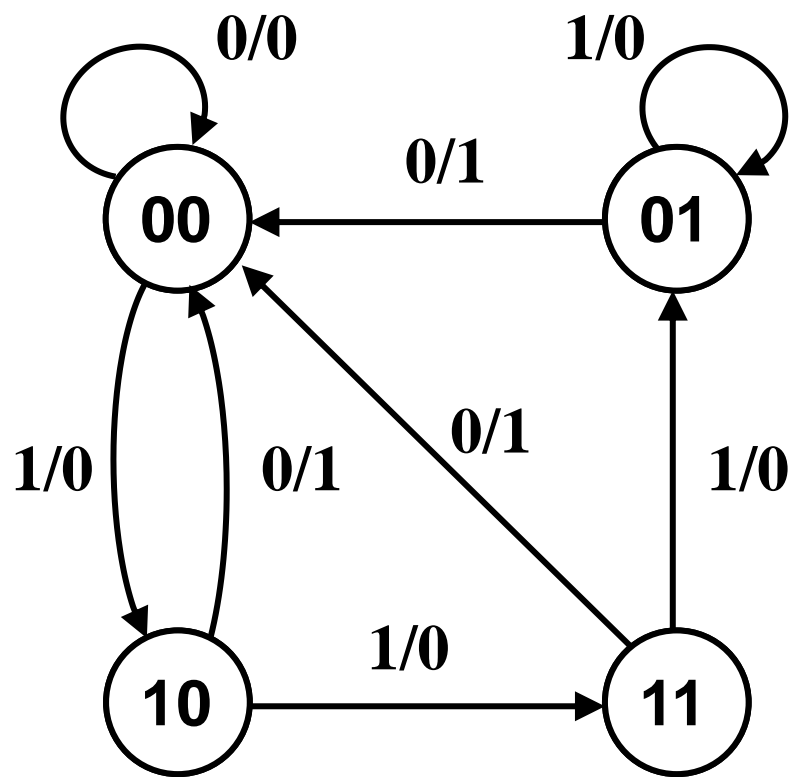
$$Y = (Q_0 + Q_1) \overline{X}$$

Mealy型
时序电路

看当前的 Q_1^n, Q_0^n 和变化后的X来确定输出Y

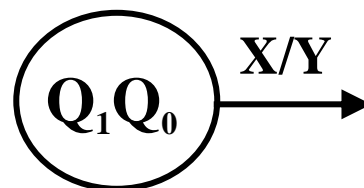
示例1—时序电路描述方式(续2)

- 状态图



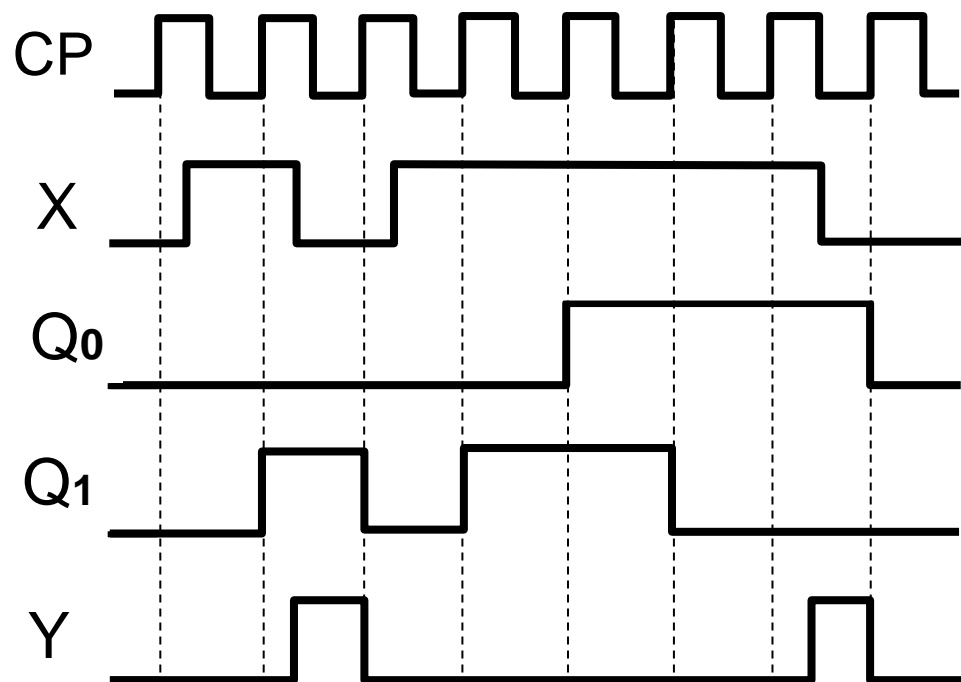
状态表

$Q_1^n Q_0^n$	$Q_1^{n+1} Q_0^{n+1} / Y$	
	X=0	X=1
0 0	0 0 / 0	1 0 / 0
0 1	0 0 / 1	0 1 / 0
1 0	0 0 / 1	1 1 / 0
1 1	0 0 / 1	0 1 / 0



示例1—时序电路描述方式(续3)

• 时序图



Q0,Q1在时钟沿上根据X和当前的Q0,Q1更新,
Y随时随刻根据Q0,Q1和X更新

状态表

$Q_1^n Q_0^n$	$Q_1^{n+1} Q_0^{n+1} / Y$	
	X=0	X=1
0 0	0 0 / 0	1 0 / 0
0 1	0 0 / 1	0 1 / 0
1 0	0 0 / 1	1 1 / 0
1 1	0 0 / 1	0 1 / 0

$$Y = (Q_0 + Q_1) \bar{X}$$

同步时序电路的分析

- 已知逻辑电路图，确定其逻辑功能
- 一般分析步骤
 - 根据逻辑图，写出逻辑方程
 - 输出方程
 - 激励方程：每个触发器的输入驱动方程
 - 状态方程：将激励方程代入触发器特性方程得到
 - 列出状态表、画出状态图或时序图
 - 确定电路的逻辑功能

示例2—分析时序电路

- 写出逻辑方程

Moore型时序电路

输出方程

$$Y = Q_2 Q_1$$

激励方程

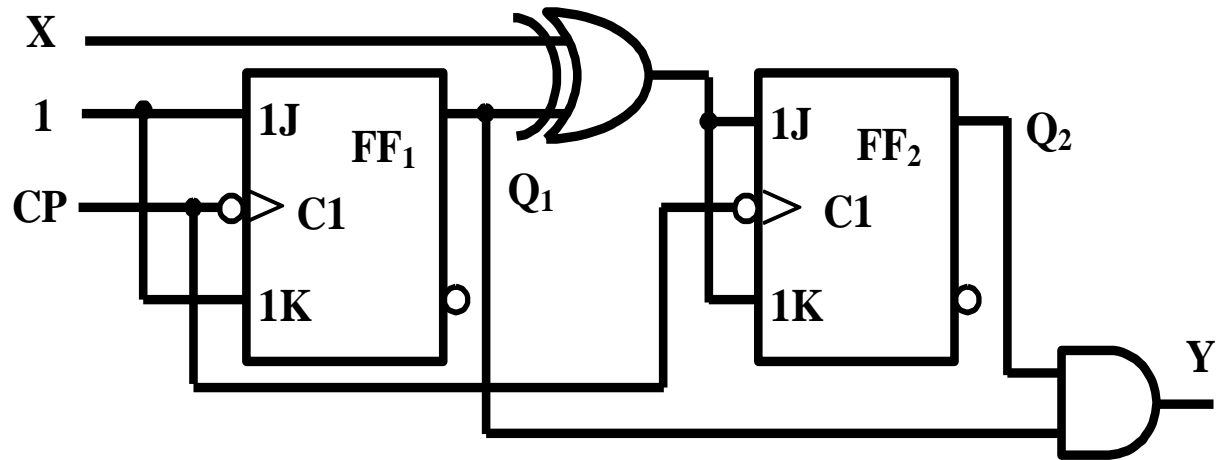
$$J_1 = K_1 = 1$$

$$J_2 = K_2 = X \oplus Q_1$$

状态方程

$$Q_1^{n+1} = \overline{Q_1^n}$$

$$Q_2^{n+1} = X \oplus Q_1^n \oplus Q_2^n$$



$$[Q^{n+1} = J \overline{Q}^n + \overline{K} Q^n]$$

示例2—分析时序电路(续1)

- 列出状态表

输出方程

$$Y = Q_2 Q_1$$

状态方程

$$Q_1^{n+1} = \overline{Q_1^n}$$

$$Q_2^{n+1} = \underline{X \oplus Q_1^n \oplus Q_2^n}$$

有1个1或3个1时输出为1，否则为0

状态表

$Q_2^n Q_1^n$	$Q_2^{n+1} Q_1^{n+1}$		Y
	$X=0$	$X=1$	
0 0	0 1	1 1	0
0 1	1 0	0 0	0
1 0	1 1	0 1	0
1 1	0 0	1 0	1

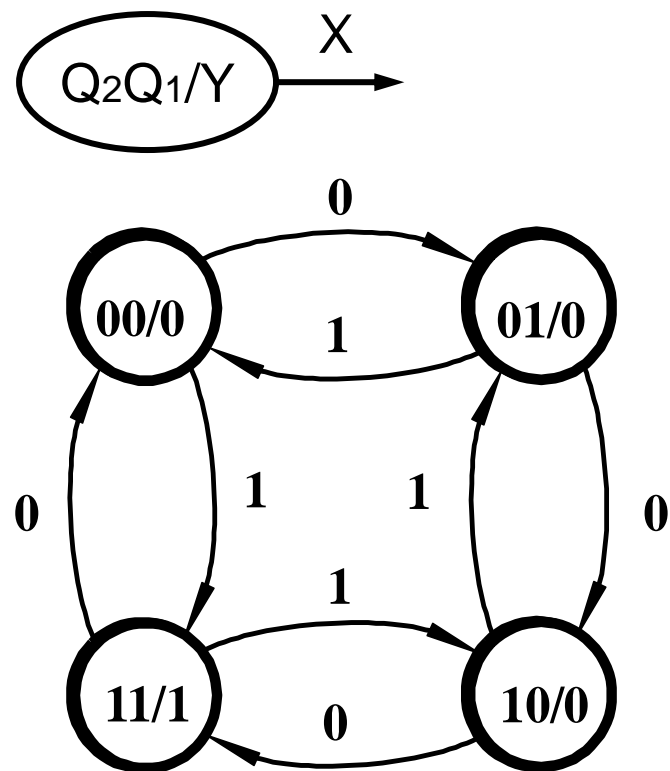
看当前的Q2,Q1和变化后的X来确定输出Y

示例2—分析时序电路(续2)

- 画出状态图

状态表

$Q_2^n Q_1^n$	$Q_2^{n+1} Q_1^{n+1}$		Y
	$X=0$	$X=1$	
0 0	0 1	1 1	0
0 1	1 0	0 0	0
1 0	1 1	0 1	0
1 1	0 0	1 0	1



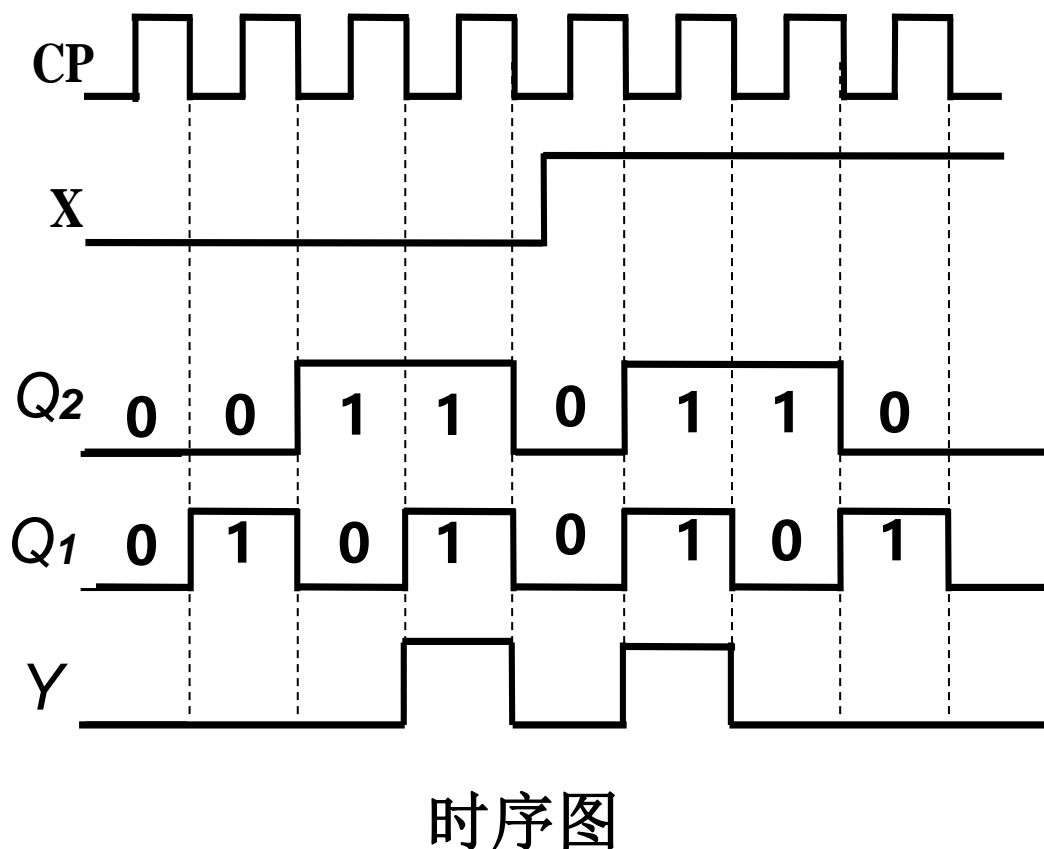
状态图

示例2—分析时序电路(续3)

- 画出时序图

状态表

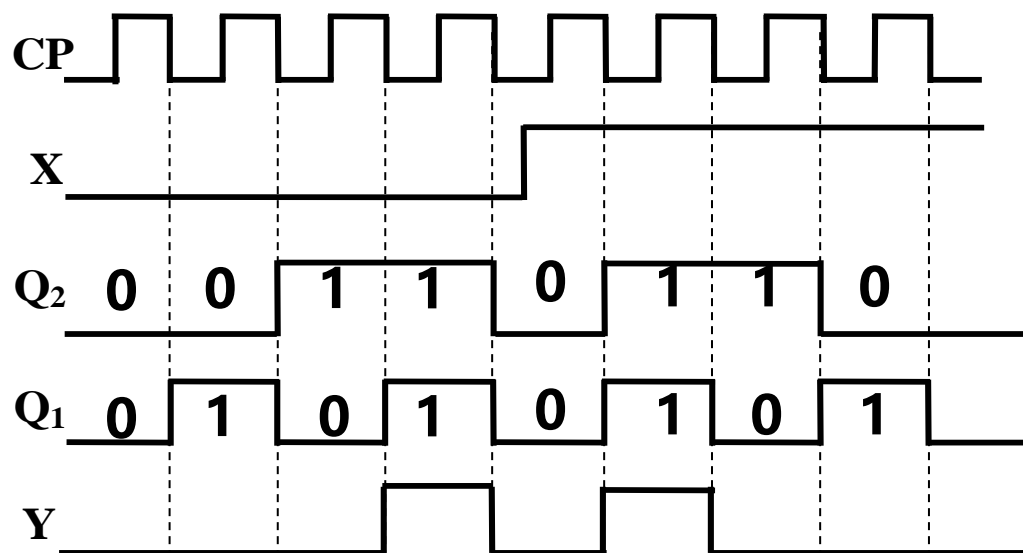
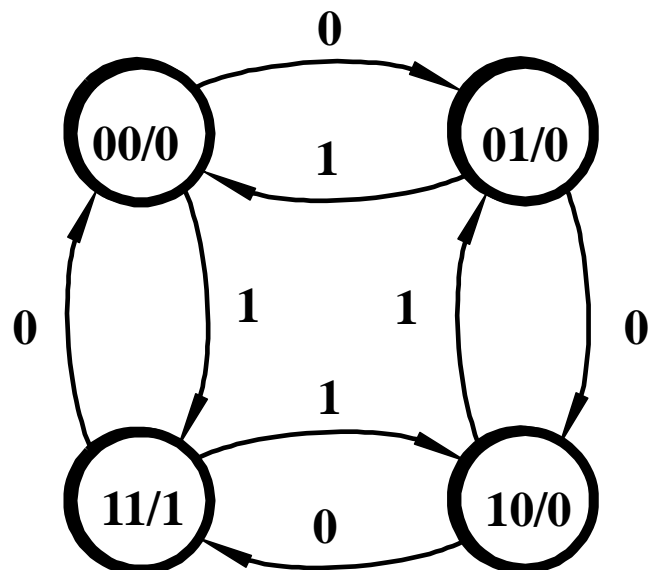
$Q_2^n Q_1^n$	$Q_2^{n+1} Q_1^{n+1}$		Y
	$X=0$	$X=1$	
0 0	0 1	1 1	0
0 1	1 0	0 0	0
1 0	1 1	0 1	0
1 1	0 0	1 0	1



Q1,Q2在时钟沿上根据X和当前的Q1,Q2更新, Y随时随刻根据Q0,Q1和X更新

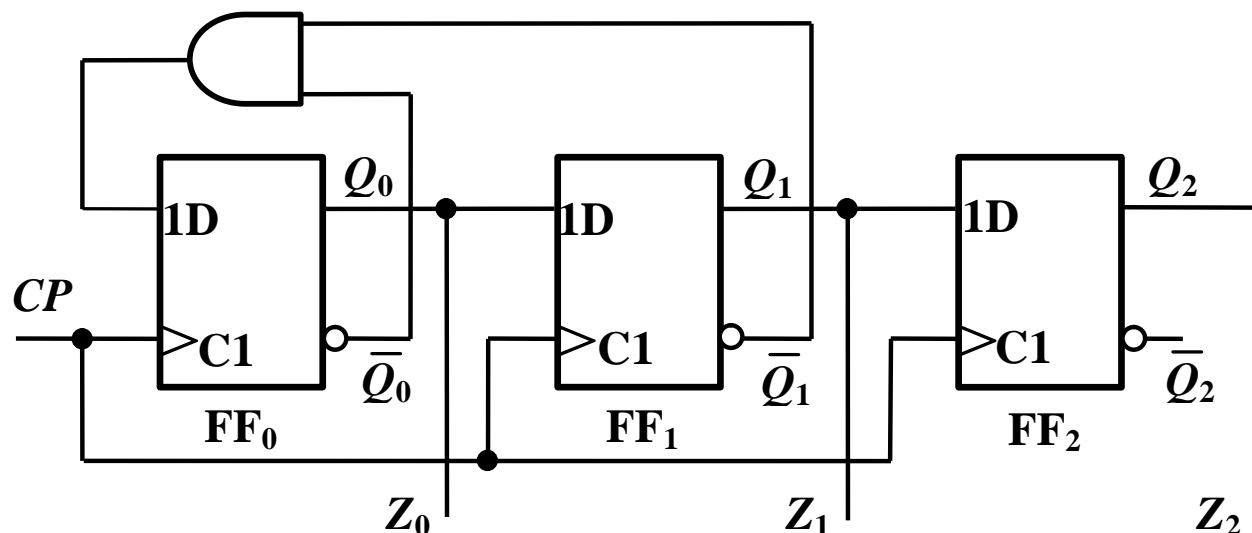
示例2—分析时序电路(续4)

- **确定电路逻辑功能：可逆计数器**
 - 当 $X=0$ 时，电路进行加1计数
 - 当 $X=1$ 时，电路进行减1计数
 - Y 可理解为进位或借位



示例3—分析时序电路

- 写出逻辑方程



输出方程

$$Z_0 = Q_0$$

$$Z_1 = Q_1$$

$$Z_2 = Q_2$$

激励方程

$$D_0 = \overline{Q_1^n} \overline{Q_0^n}$$

$$D_1 = Q_0^n$$

$$D_2 = Q_1^n$$

状态方程 [$Q^{n+1} = D$]

$$Q_0^{n+1} = \overline{Q_1^n} \overline{Q_0^n}$$

$$Q_1^{n+1} = Q_0^n$$

$$Q_2^{n+1} = Q_1^n$$

示例3—分析时序电路(续1)

- 列出状态表

$$Q_0^{n+1} = \overline{Q_1^n} \overline{Q_0^n} = \overline{Q_1^n + Q_0^n}$$

$$Q_1^{n+1} = Q_0^n$$

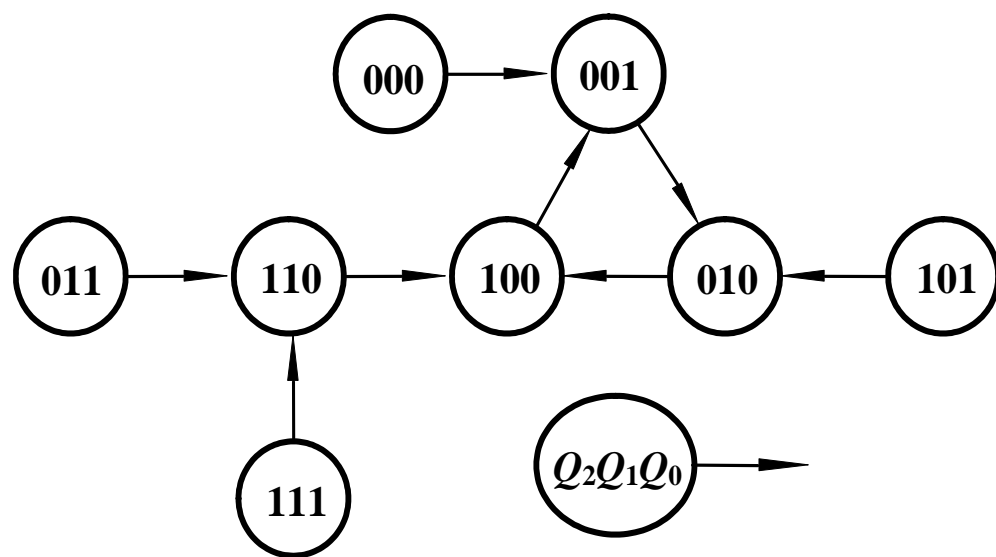
$$Q_2^{n+1} = Q_1^n$$

状态表

$Q_2^n Q_1^n Q_0^n$	$Q_2^{n+1} Q_1^{n+1} Q_0^{n+1}$
0 0 0	0 0 1
0 0 1	0 1 0
0 1 0	1 0 0
0 1 1	1 1 0
1 0 0	0 0 1
1 0 1	0 1 0
1 1 0	1 0 0
1 1 1	1 1 0

示例3—分析时序电路(续2)

- 画出状态图



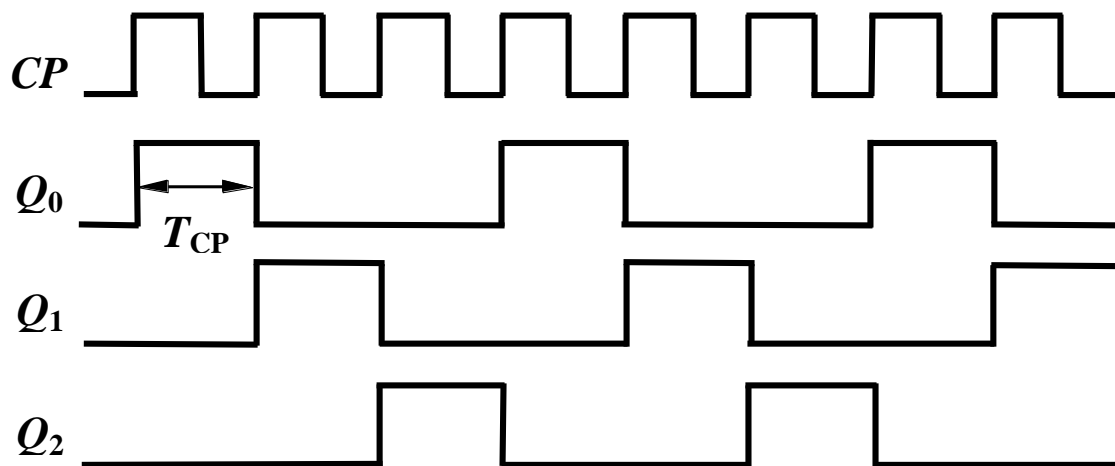
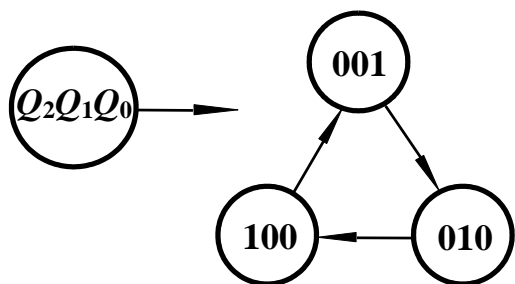
状态图

状态表

$Q_2^n Q_1^n Q_0^n$	$Q_2^{n+1} Q_1^{n+1} Q_0^{n+1}$		
0 0 0	0	0	1
0 0 1	0	1	0
0 1 0	1	0	0
0 1 1	1	1	0
1 0 0	0	0	1
1 0 1	0	1	0
1 1 0	1	0	0
1 1 1	1	1	0

示例3—分析时序电路(续3)

- 画出时序图



- 由状态图可见，电路有3个循环的有效状态
- 从时序图可看出，电路正常工作时，各触发器的 Q 端轮流出现一个宽度为一个时钟周期(T_{CP})的脉冲信号，循环周期为 $3T_{CP}$
- 电路的功能为脉冲分配器或节拍脉冲产生器