

6.5 若干典型的时序逻辑集成电路

6.5.1 寄存器和移位寄存器

6.5.2 计数器

6.5 若干典型的时序逻辑集成电路

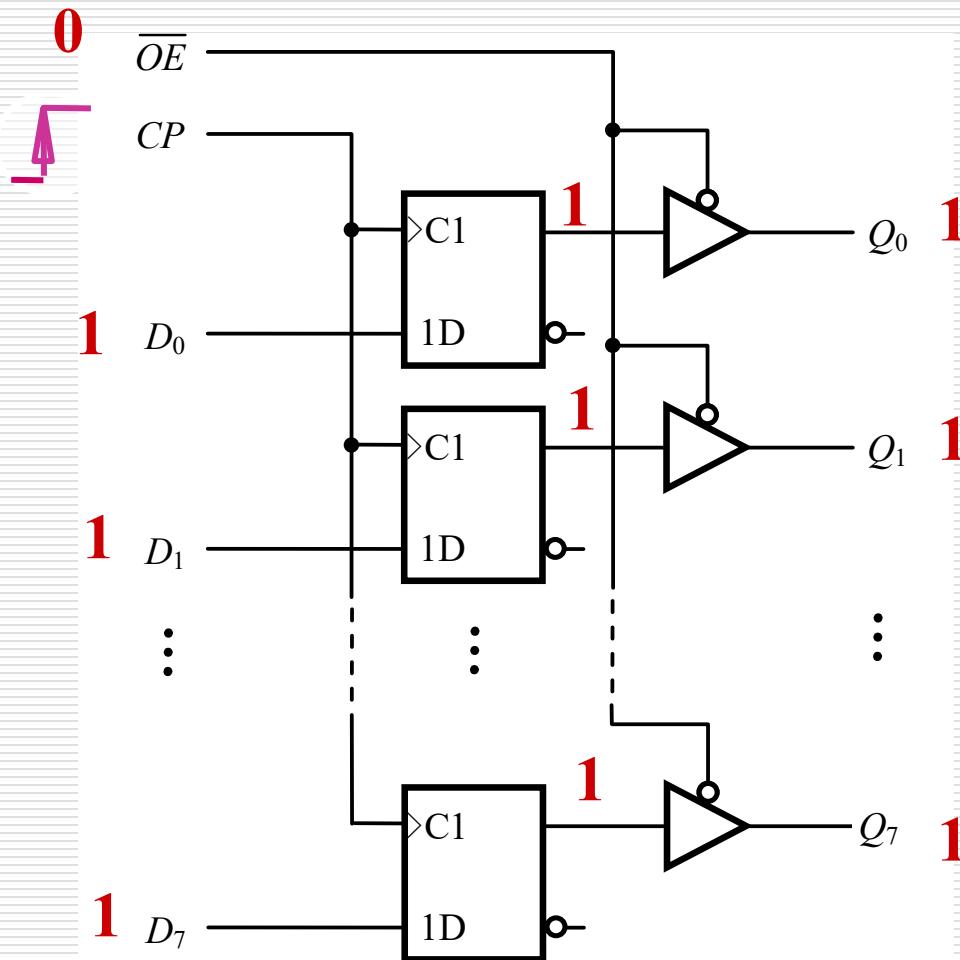
6.5.1 寄存器和移位寄存器

1、寄存器

寄存器:是数字系统中用来存储代码或数据的逻辑部件。它的主要组成部分是触发器。

一个触发器能存储1位二进制代码，存储 n 位二进制代码的寄存器需要用 n 个触发器组成。寄存器实际上是一组触发器的集合。

8位CMOS寄存器74HC/HCT374



脉冲边沿敏感的寄存器

8位CMOS寄存器74LV374

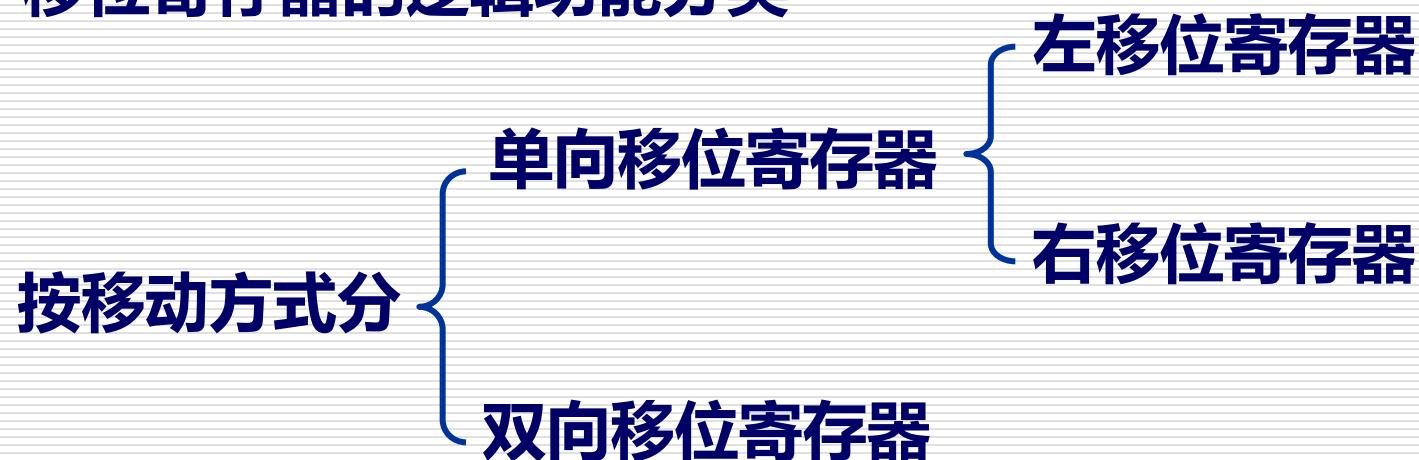
工作模式	输入			内部触发器 Q_N^{n+1}	输出 $Q_0 \sim Q_7$
	\overline{OE}	CP	D_N		
存入和读出数据	L	↑	L	L	对应内部触发器的状态
	L	↑	H	H	
存入数据，禁止输出	H	↑	L	L	高阻
	H	↑	H	H	高阻

2、 移位寄存器

- 移位寄存器的逻辑功能

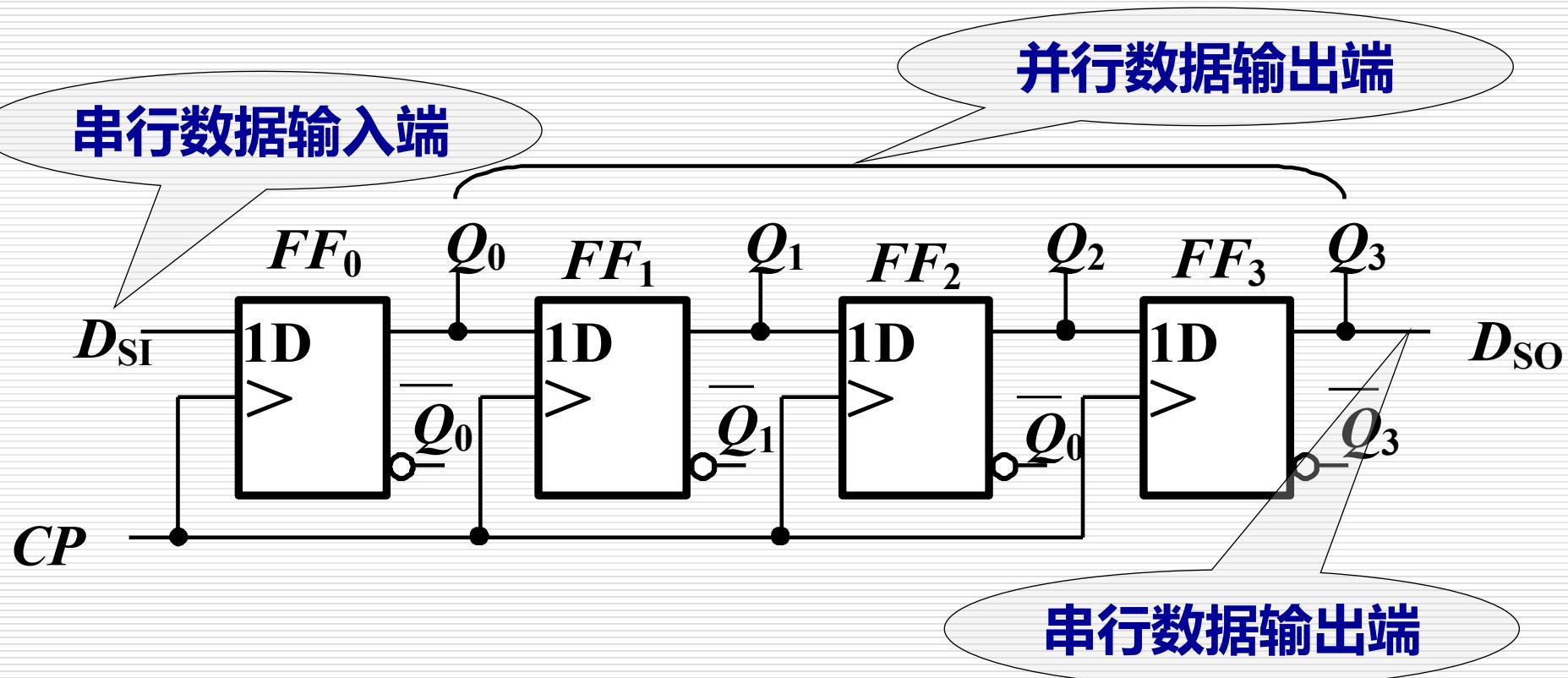
移位寄存器是既能**寄存数码**，又能在**时钟脉冲的作用下使数
码向高位或向低位移动**的逻辑功能部件

- 移位寄存器的逻辑功能分类



(1) 基本移位寄存器

(a) 电路



(b). 工作原理

写出激励方程：

$$D_0 = D_{SI}$$

$$D_1 = Q_0^n$$

$$D_2 = Q_1^n$$

$$D_3 = Q_2^n$$

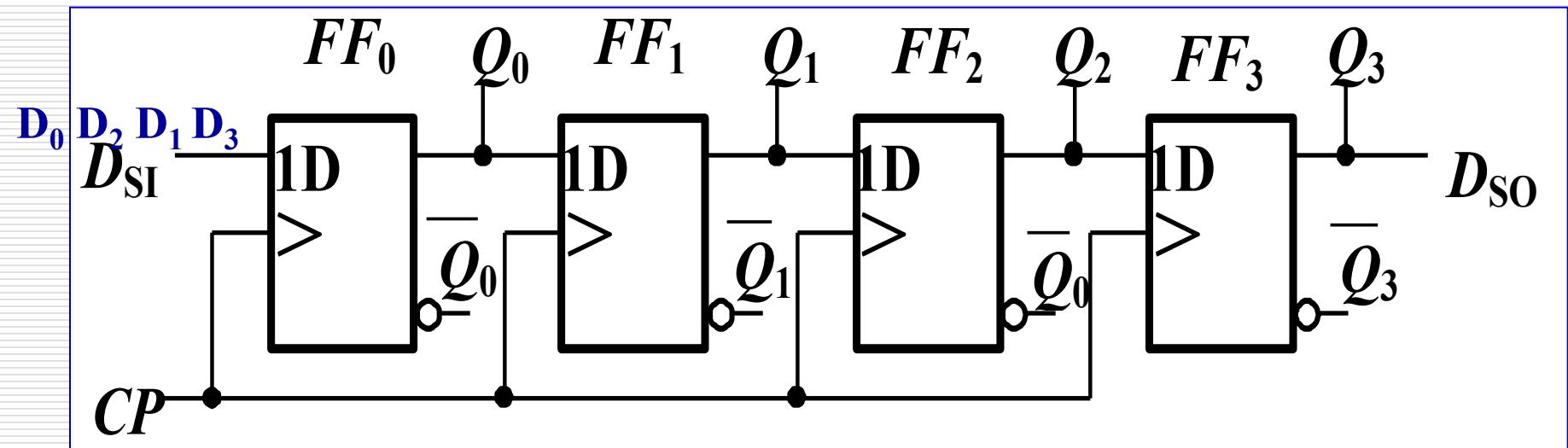
写出状态方程：

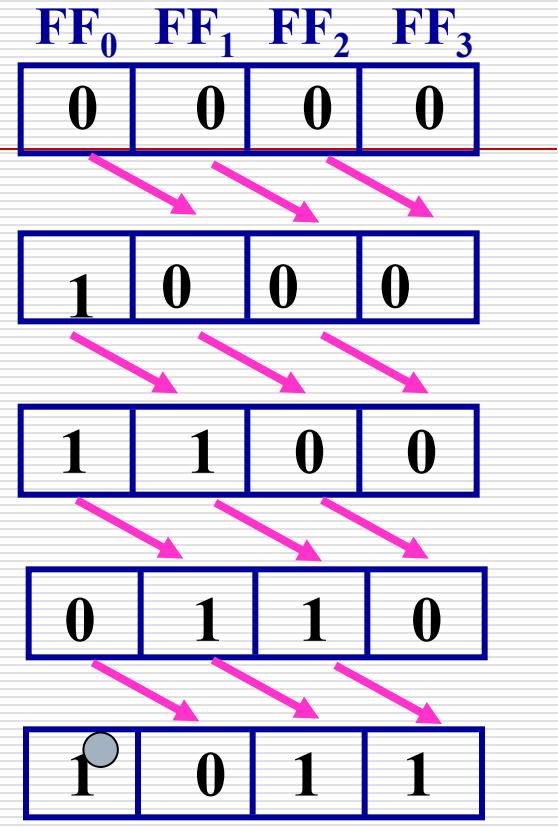
$$Q_0^{n+1} = D_{SI}$$

$$Q_1^{n+1} = D_1 = Q_0^n$$

$$Q_2^{n+1} = D_2 = Q_1^n$$

$$Q_3^{n+1} = D_3 = Q_2^n$$





$$Q_0^{n+1} = D_{SI}$$

1CP 后 1→

$$Q_1^{n+1}$$

想一想：接下
来的4个CP呢？

后 1→

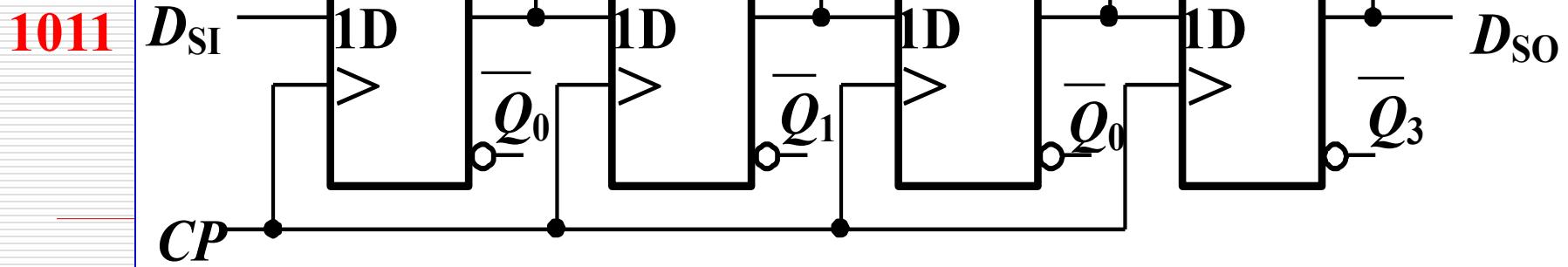
$$Q_2^{n+1}$$

3CP 后 0→

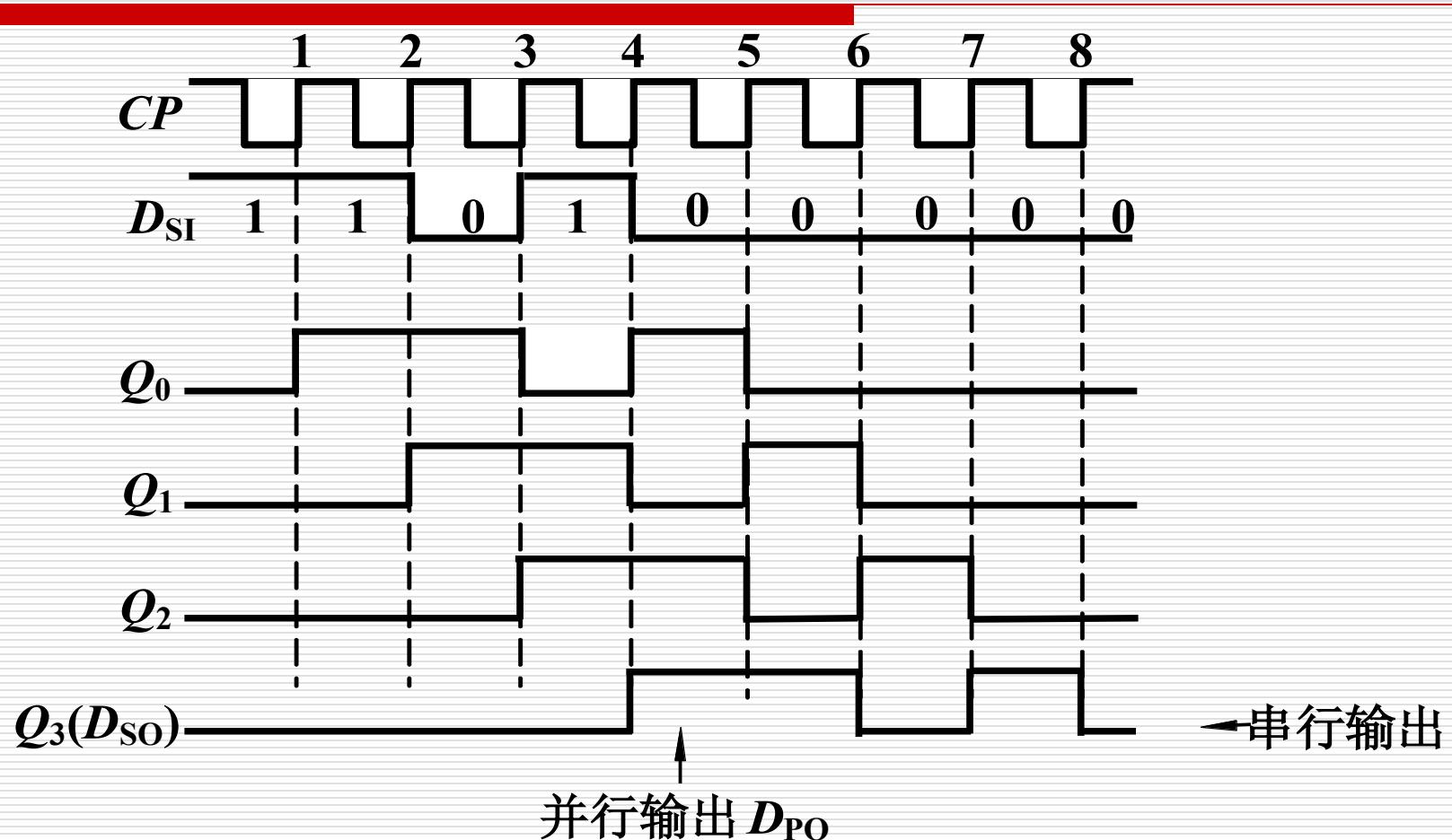
$$Q_3^{n+1} = Q_2^n$$

4CP 后 1→

1011



$D_{SI} = 11010000$, 从高位开始输入



经过7个CP脉冲作用后，从 D_{SI} 端串行输入的数码就可以从 D_O 端串行输出。
串入→串出

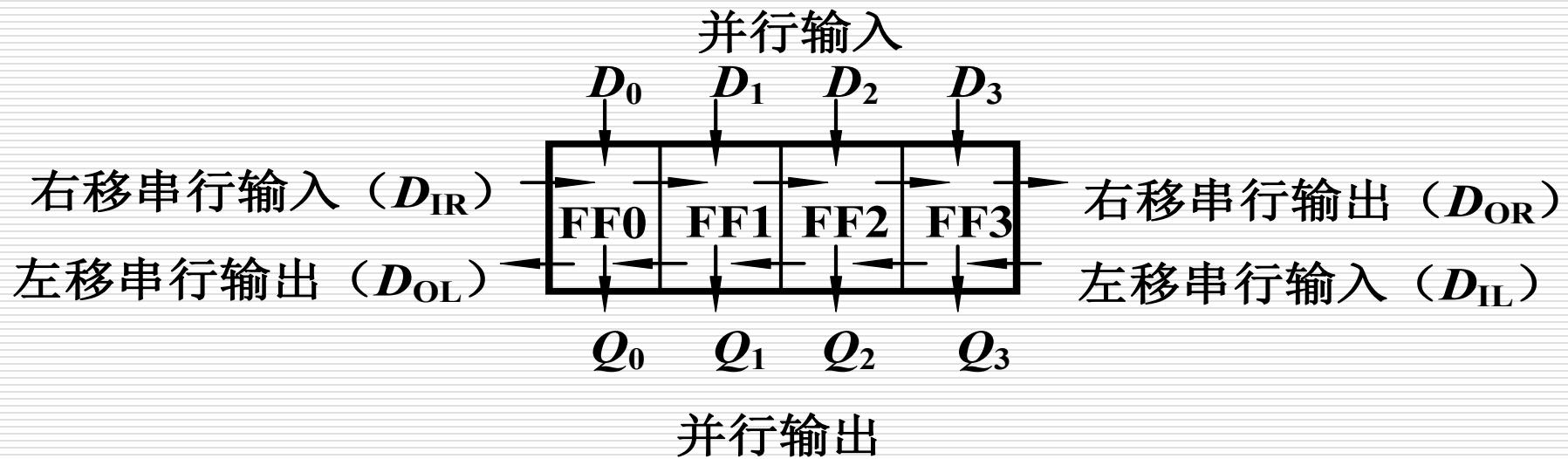
(2) 多功能双向移位寄存器

(a) 工作原理

低位移向高位---右移

高位移向低位---左移

多功能移位寄存器工作模式简图



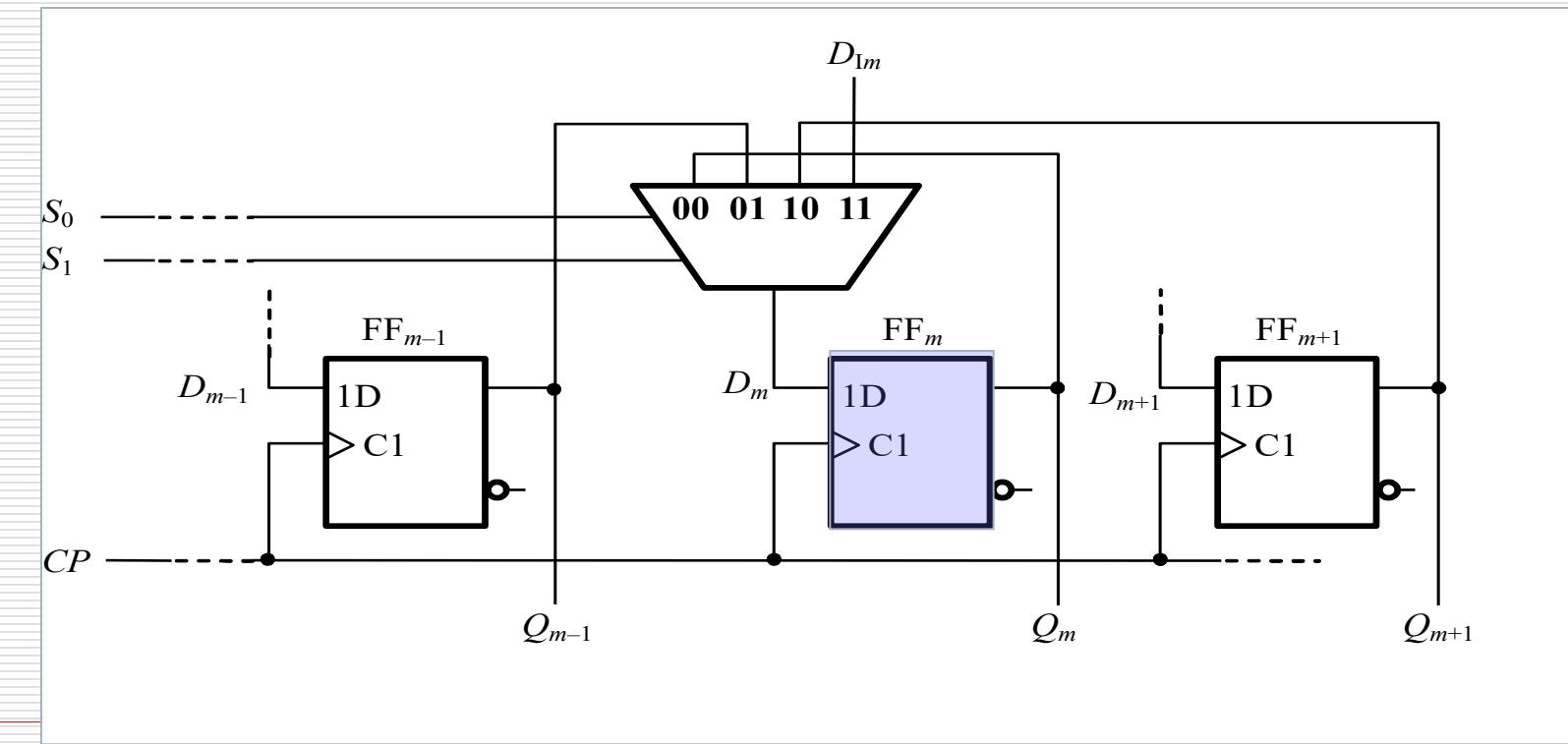
实现多种功能双向移位寄存器的一种方案(仅以 FF_m 为例)

$S_1S_0=00 \quad Q_{m+1} = Q_m \quad \text{不变}$

$S_1S_0=10 \quad Q_{m+1} = Q_m \quad \text{高位移向低位}$

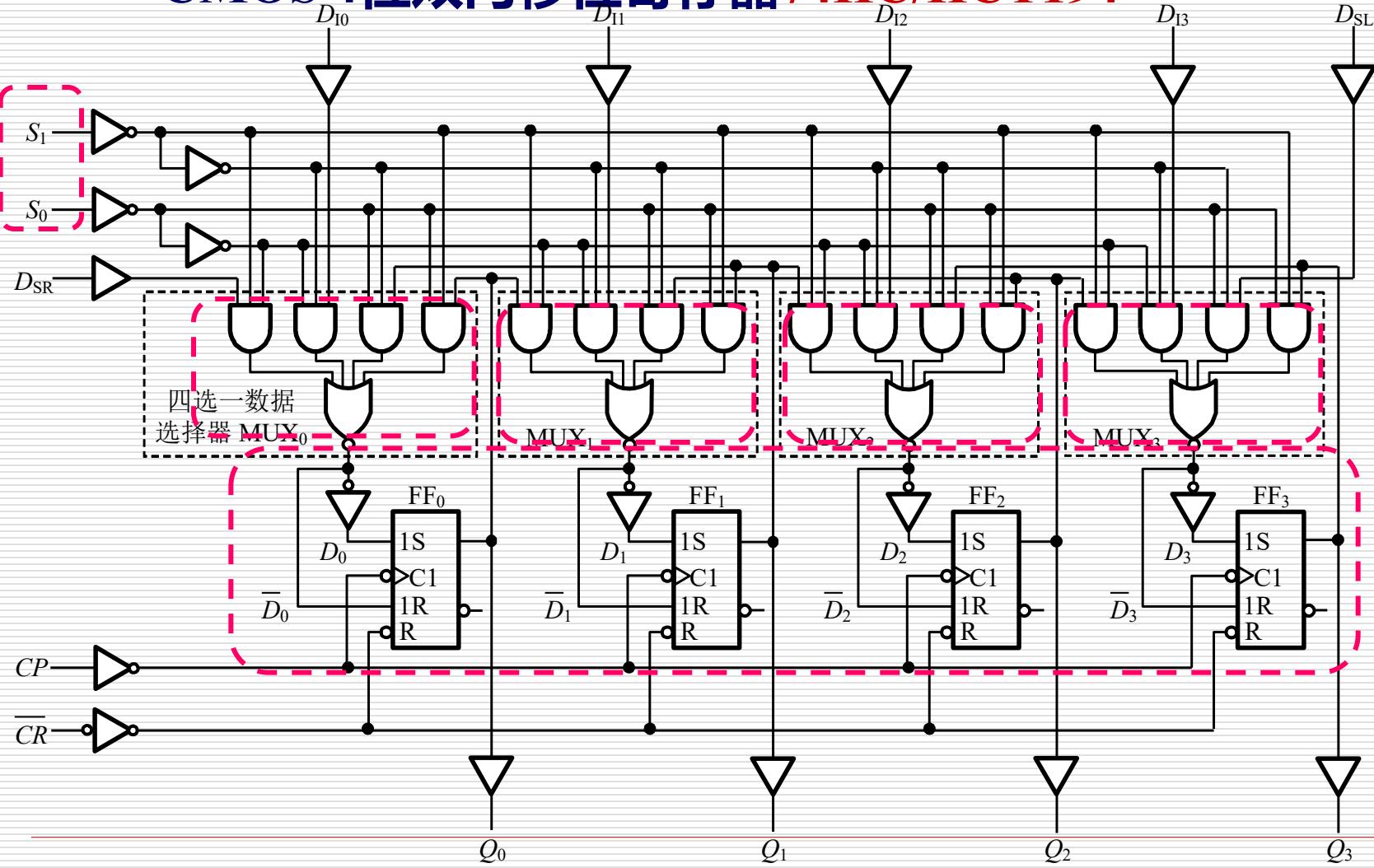
$S_1S_0=01 \quad Q_{m+1} = Q_{m-1} \quad \text{低位移向高位}$

$S_1S_0=11 \quad Q_{m+1} = D_m \quad \text{并入}$



(2) 典型集成电路

CMOS 4位双向移位寄存器 74HC/HCT194



74HCT194 的功能表

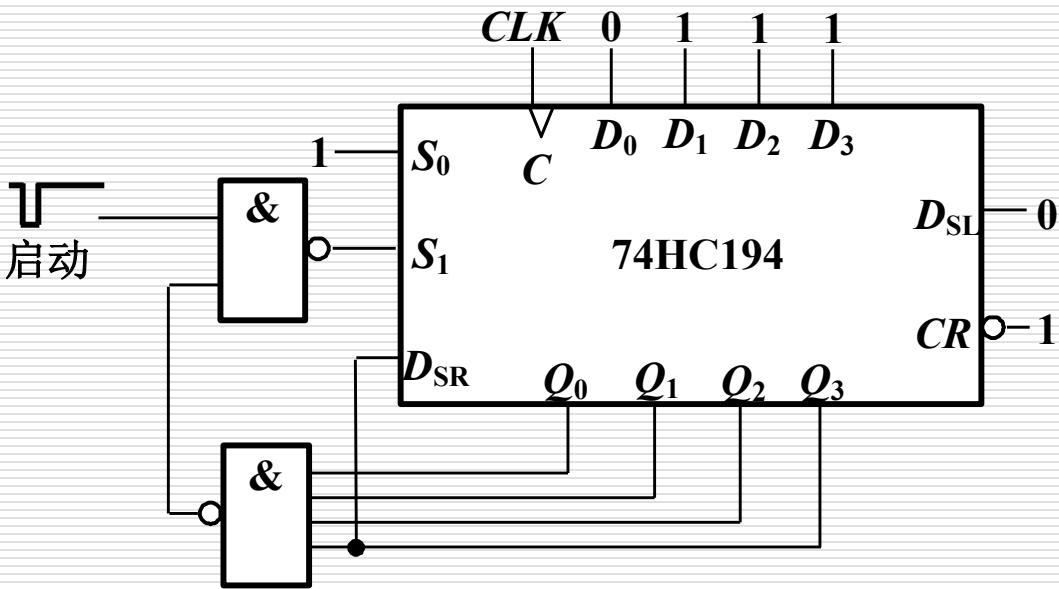
清零 —CR	控制信号 $S_1 \quad S_0$	输入				时钟 CP	并行输入				输出				行	
		串行输入														
		右移 D_{SR}	左移 D_{SL}				DI_0	DI_1	DI_2	DI_3	Q_0^{n+1}	Q_1^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_3^{n+1}		
L	x x	x x	x	x	x		x	x	x	x	L	L	L	L	1	
H	L L	x x	x	x	x		x	x	x	x	Q_0^n	Q_1^n	Q_2^n	Q_3^n	2	
H	L H	L x		↑			x	x	x	x	L	Q_0^n	Q_1^n	Q_2^n		3
H	L H	H x		↑			x	x	x	x	H	Q_0^n	Q_1^n	Q_2^n		4
H	H L	x L		↑			x	x	x	x	Q_1^n	Q_2^n	Q_3^n	L	5	
H	H L	x H		↑			x	x	x	x	Q_1^n	Q_2^n	Q_3^n	H	6	
H	H H	x x		↑			DI_0^*	DI_1^*	DI_2^*	DI_3^*	D_0	D_1	D_2	D_3	7	

例 时序脉冲产生器。电路如图所示。画出 Q_0 — Q_3 的波形。

解：启动信号的低电平到来，在 CP 的上升沿：

$S_1=1 S_0=1$,同步置数 $Q_0 \sim Q_3 = 0111$

启动信号为1后： $S_1=0 S_0=1$, 低位移向高位,



因为在移位过程中 $Q_0 \sim Q_3$ 总有一个为0, $S_1S_0=01$ 不变, 则
74194始终工作在低位向高位
循环移位的状态。

$$Q_0^{n+1} = D_{SR} = Q_3^n$$

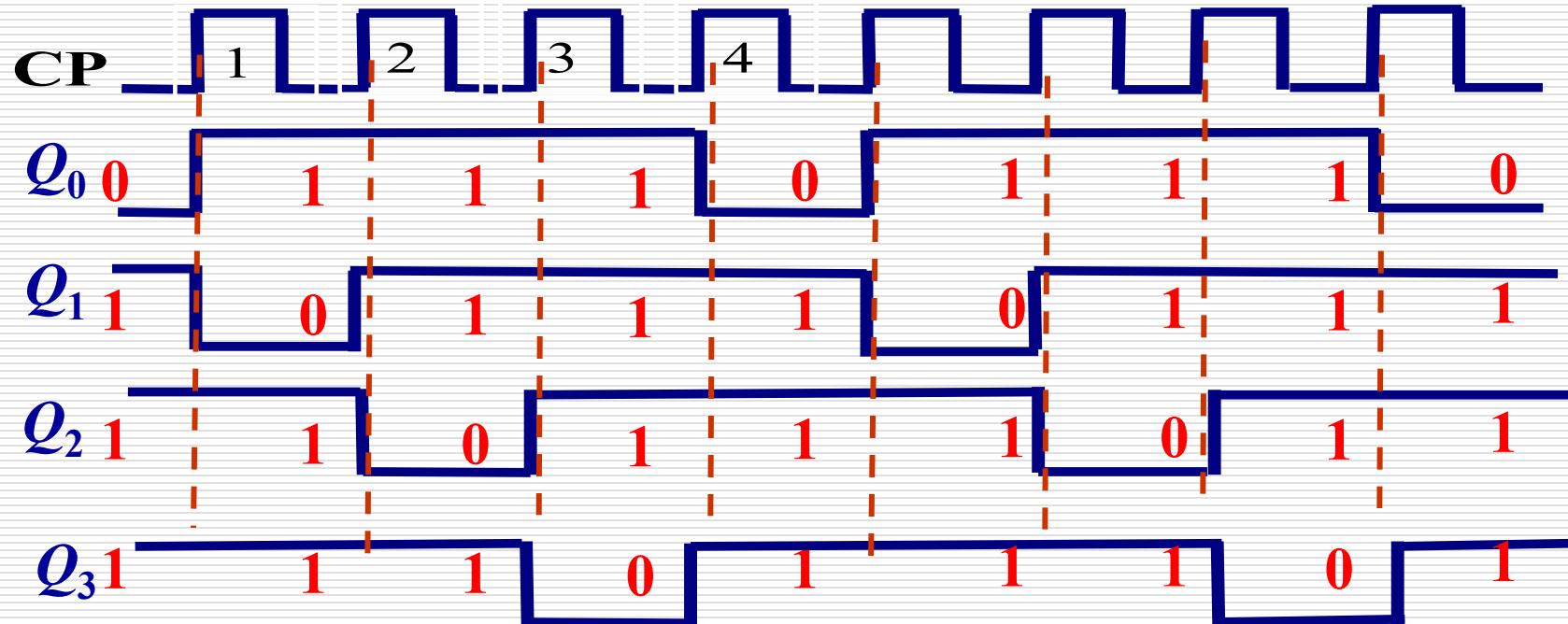
$$Q_3^{n+1} = Q_2^n$$

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

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

启动信号作用后的波形图

$$Q_0^{n+1} = D_{SR} = Q_3^n \quad Q_3^{n+1} = Q_2^n \quad Q_2^{n+1} = Q_1^n \quad Q_1^{n+1} = Q_0^n$$



6.5.2 计数器

概 述

(1) 计数器的逻辑功能

计数器的基本功能是对输入时钟脉冲进行计数。它也可用于分频、定时、产生节拍脉冲和脉冲序列及进行数字运算等等。

(2) 计数器的分类

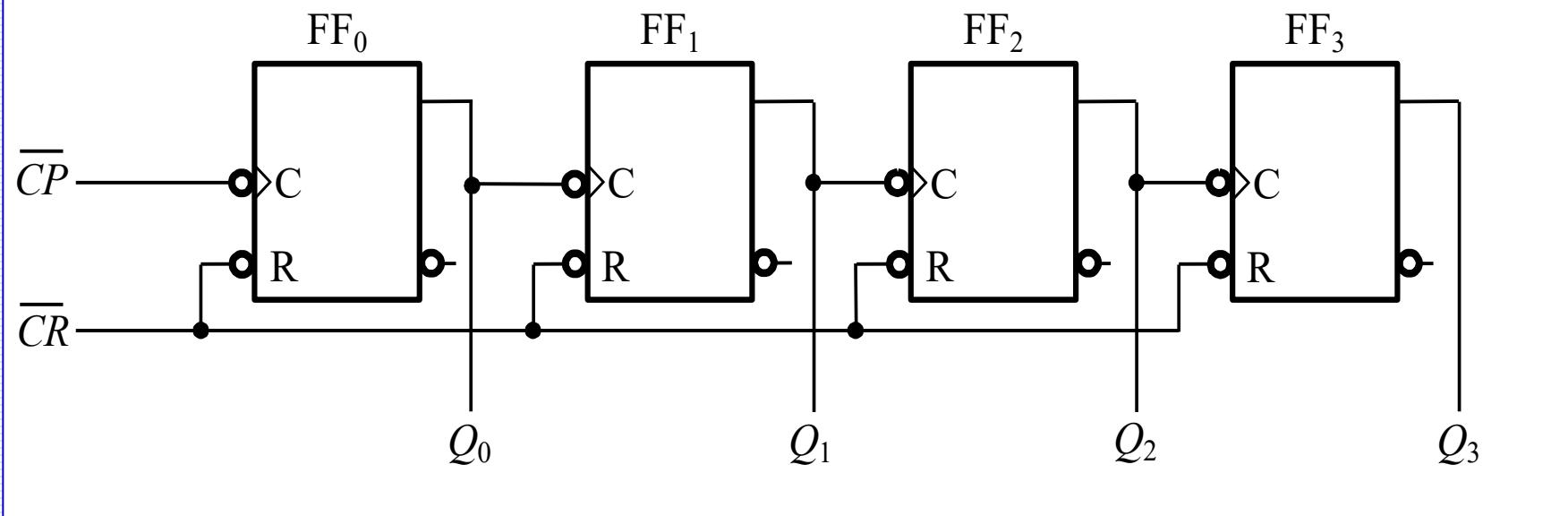
- 按脉冲输入方式，分为同步和异步计数器
- 按进位体制，分为二进制、十进制和任意进制计数器
- 按逻辑功能，分为递增、递减和可逆计数器

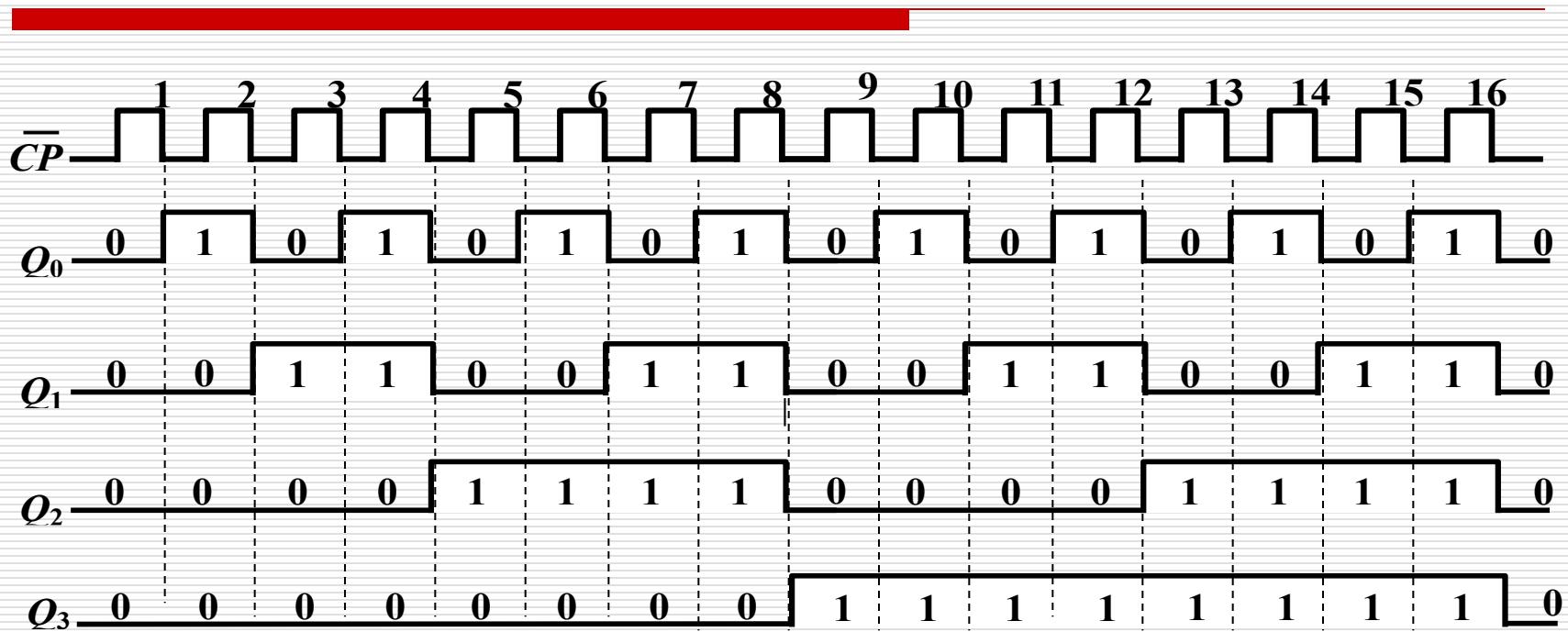


1、二进制计数器

(1) 异步二进制计数器---4位异步二进制加法计数器

工作原理

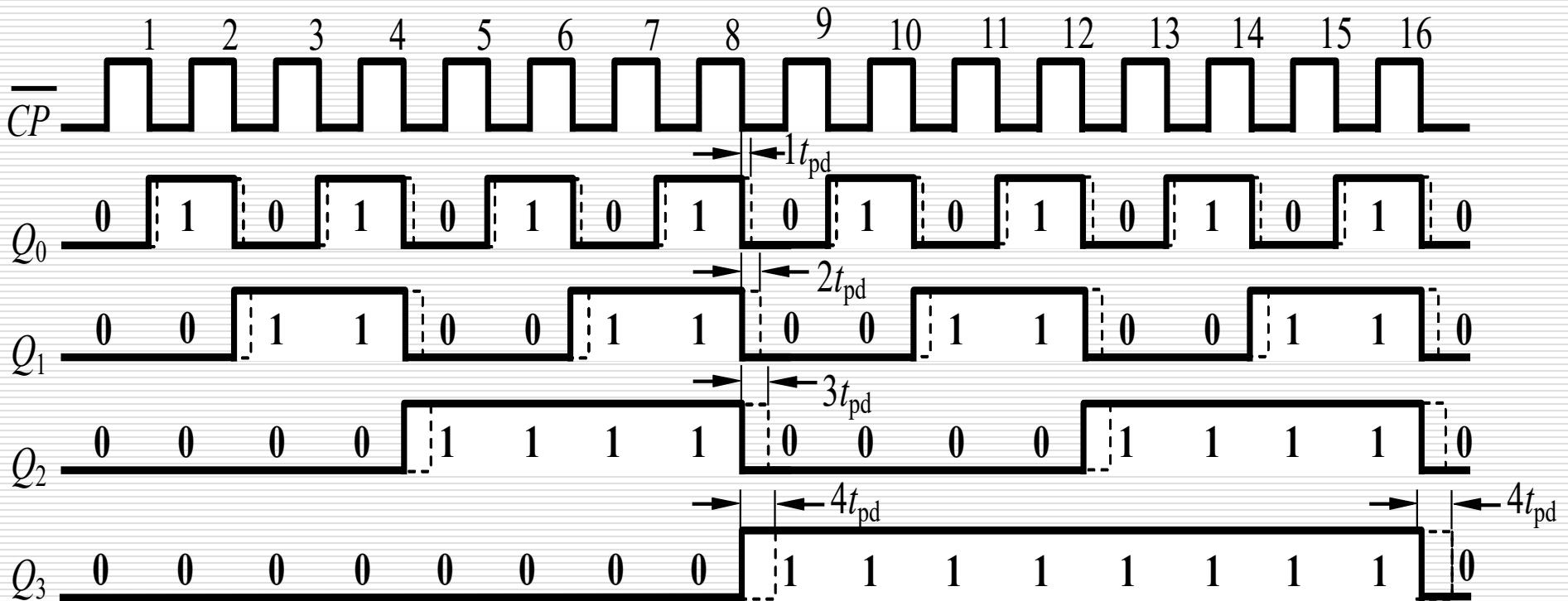




$$f_{Q_0} = \frac{1}{2} f_{CP} \quad f_{Q_1} = \frac{1}{4} f_{CP} \quad f_{Q_2} = \frac{1}{8} f_{CP} \quad f_{Q_3} = \frac{1}{16} f_{CP}$$

结论: ➤ 计数器的功能：不仅可以计数也可作为分频器。

逐级脉动翻转（纹波计数器）带来的问题： 如考虑每个触发器都有 t_{pd} 的延时，电路会出现什么问题？



➤ 异步计数脉冲的最小周期 $T_{min} = nT_{pd}$ 。 (n为位数)
因此，需要 $T_{cp} >> nT_{pd}$

(2)二进制同步加计数器 (设计)

Q_0 在每个CP都翻转一次

FF₀可采用T=1的T触发器

Q_1 仅在 $Q_0=1$ 后的下一个CP到来时翻转

FF₁可采用T= Q_0 的T触发器

Q_2 仅在 $Q_0=Q_1=1$ 后的下一个CP到来时翻转

FF₂可采用T= Q_0Q_1 的T触发器

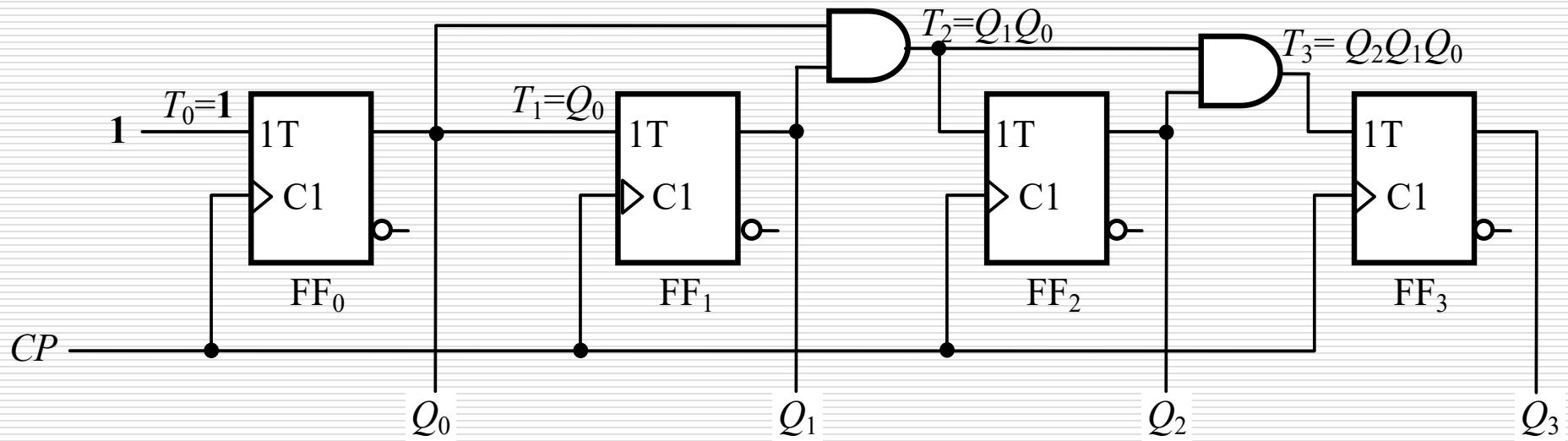
Q_3 仅在 $Q_0=Q_1=Q_2=1$ 后的下一个CP到来时翻转

FF₃可采用T= $Q_0Q_1Q_2$ 的T触发器

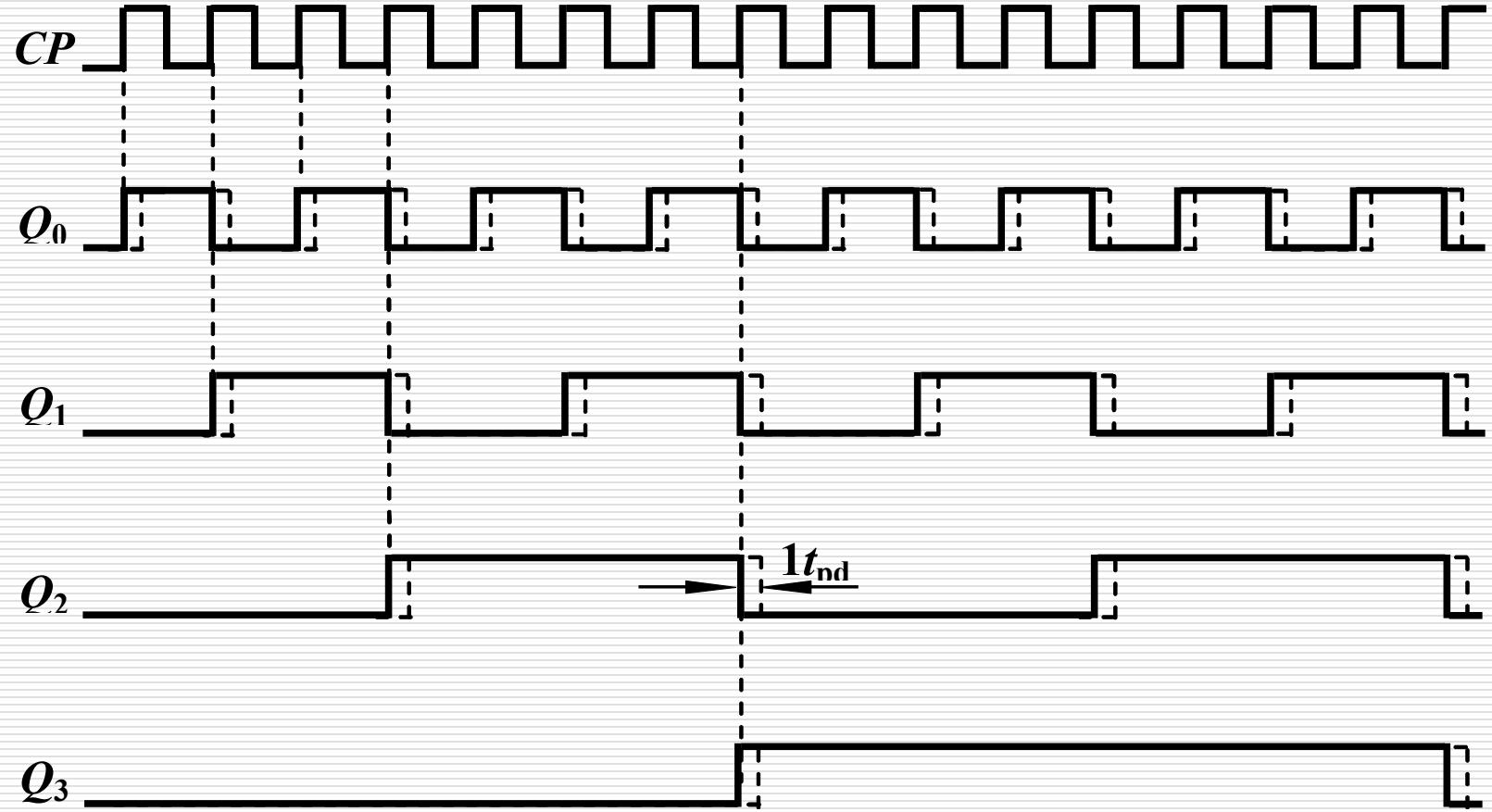
计数顺序	电路状态				进位输出
	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	0
7	0	1	1	1	0
8	1	0	0	0	0
9	1	0	0	1	0
10	1	0	1	0	0
11	1	0	1	1	0
12	1	1	0	0	0
13	1	1	0	1	0
14	1	1	1	0	0
15	1	1	1	0	1
16	0	0	0	0	0

(a) 4位二进制同步加计数器逻辑图---由T触发器构成

$$\begin{cases} T_0 = 1 \\ T_1 = Q_0 \\ T_2 = Q_1 Q_0 \\ T_3 = Q_2 Q_1 Q_0 \end{cases}$$

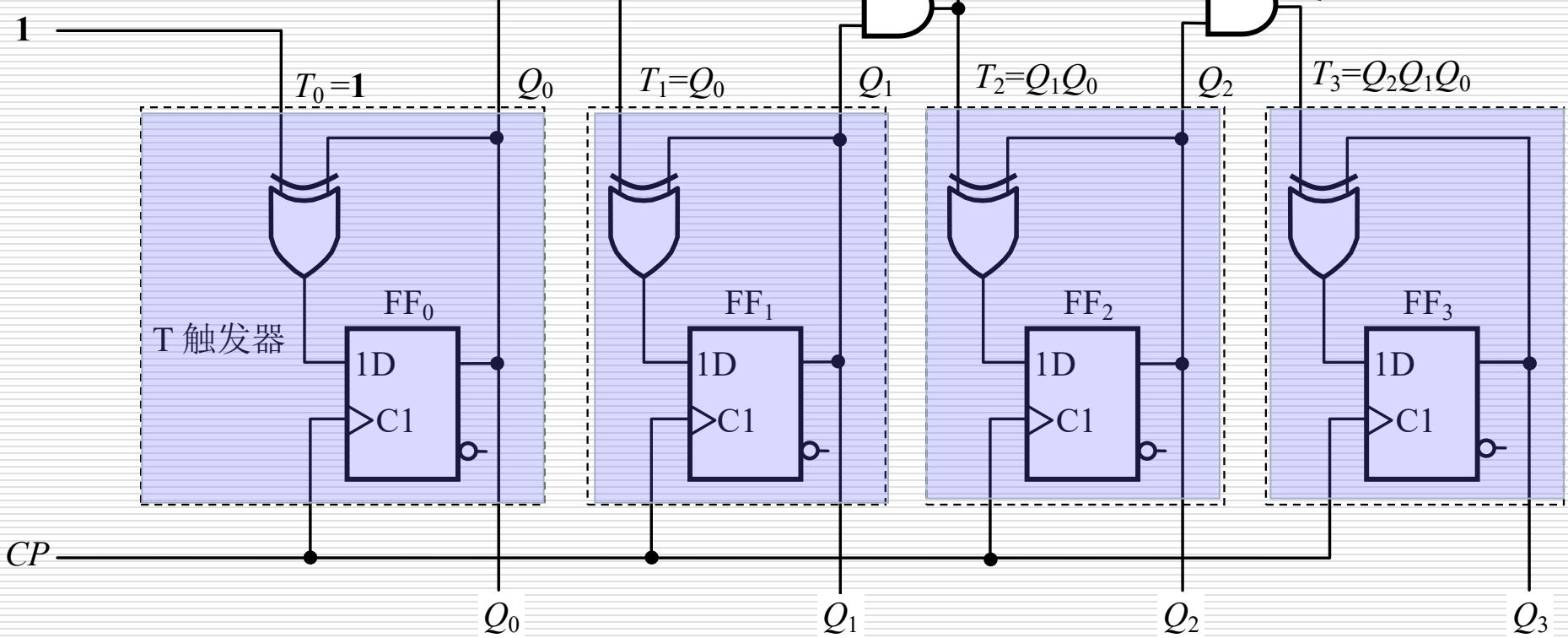
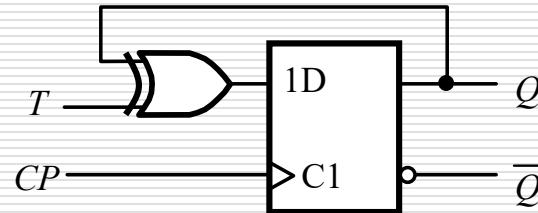
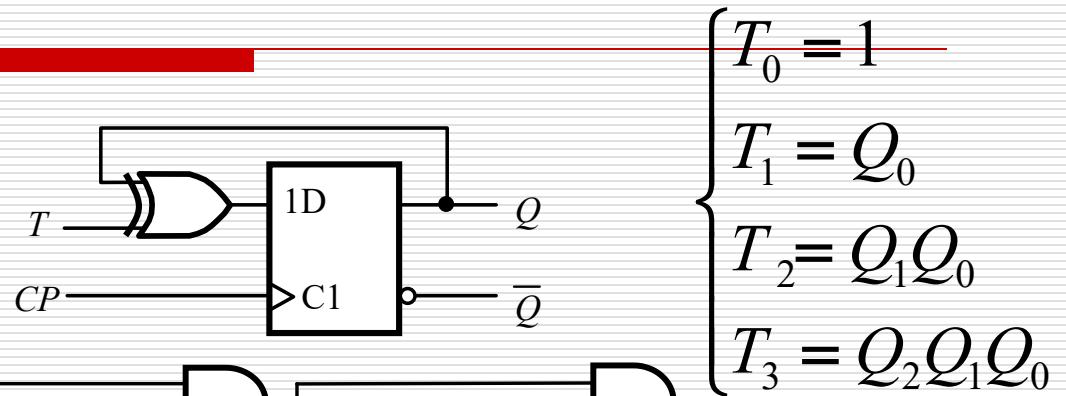


4位二进制同步加计数器时序图



(b) 4位二进制同步加计数器逻辑图---由D触发器构成

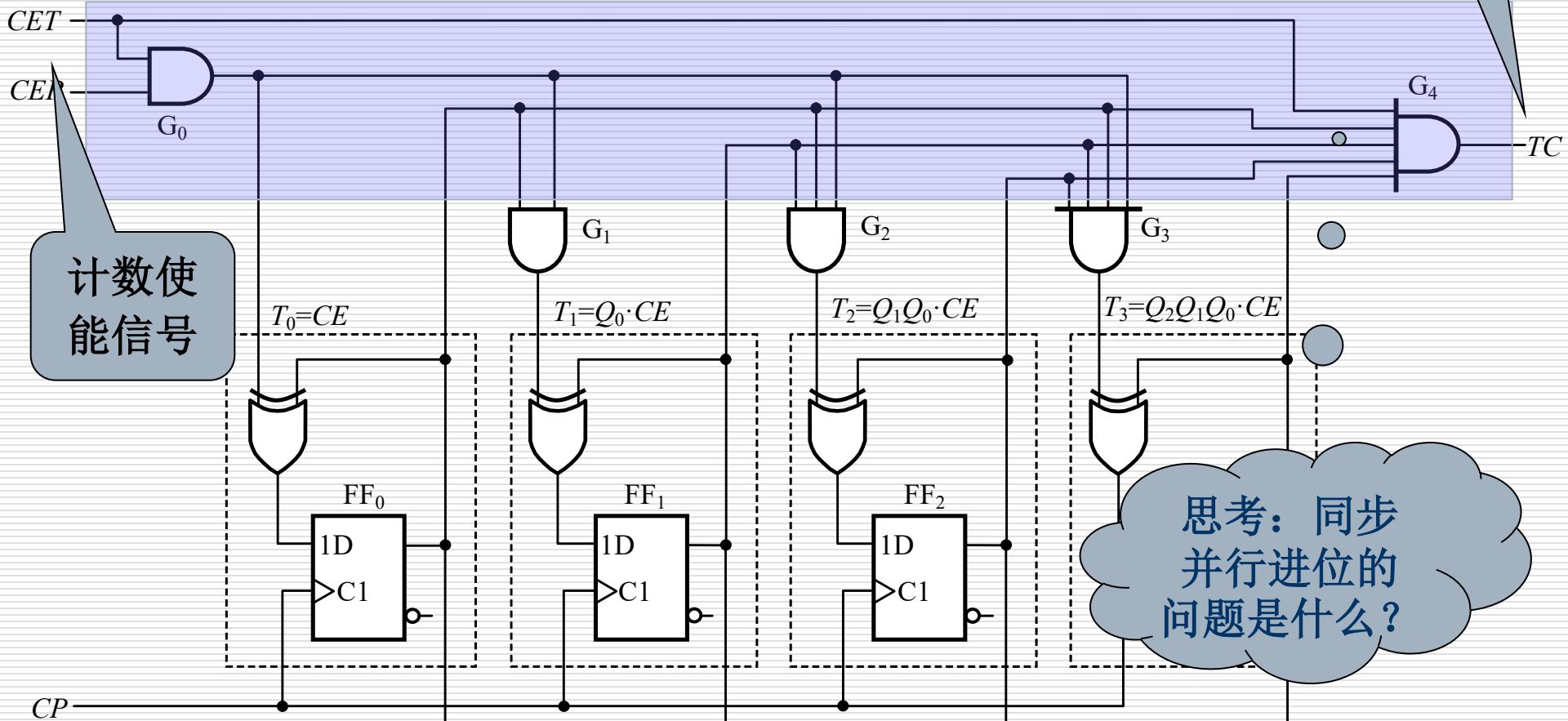
$$Q^{n+1} = D = T \bar{Q}^n + \bar{T} Q^n$$



(c) 同步计数器的进位方法

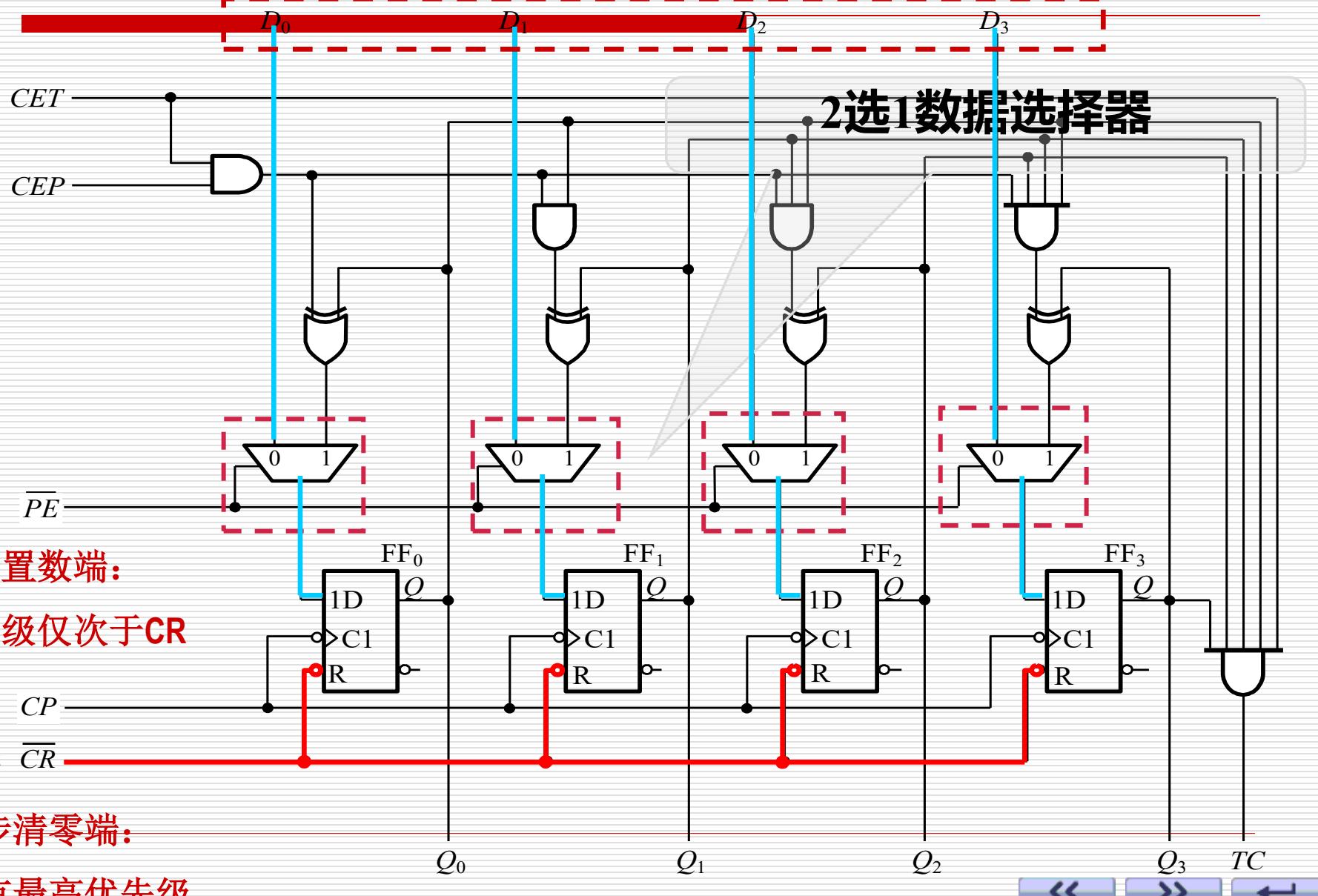
进位输出信号

思考：同步串行进位带来的问题？



当位数比较多时，采用并、串进位相结合的方式：组内并行、组间串行

(d) 异步清零和同步并行置数



(2) 典型集成计数器 74LVC161

74LVC161逻辑功能表

输入								输出				进位 TC
清零 \overline{CR}	预置 PE	使能 CEP	时钟 CP	预置数据输入 $D_3 \ D_2 \ D_1 \ D_0$				计数 $Q_3 \ Q_2 \ Q_1 \ Q_0$				
L	x	x x	x	x x x x				L L L L				L
H	L	x x	↑	$D_3 \ D_2 \ D_1 \ D_0$				$D_3 \ D_2 \ D_1 \ D_0$				*
H	H	L x	x	x x x x				保 持				*
H	H	x L	x	x x x x				保 持				*
								计 数				*
H	H	H H	↑	x x x x				计 数				*

- 异步清零

$$Q_3^{n+1} \ Q_2^{n+1} \ Q_1^{n+1} \ Q_0^{n+1} = 0000$$

- 同步并行预置数据

$$Q_3^{n+1} \ Q_2^{n+1} \ Q_1^{n+1} \ Q_0^{n+1} = D_3 D_2 D_1 D_0$$

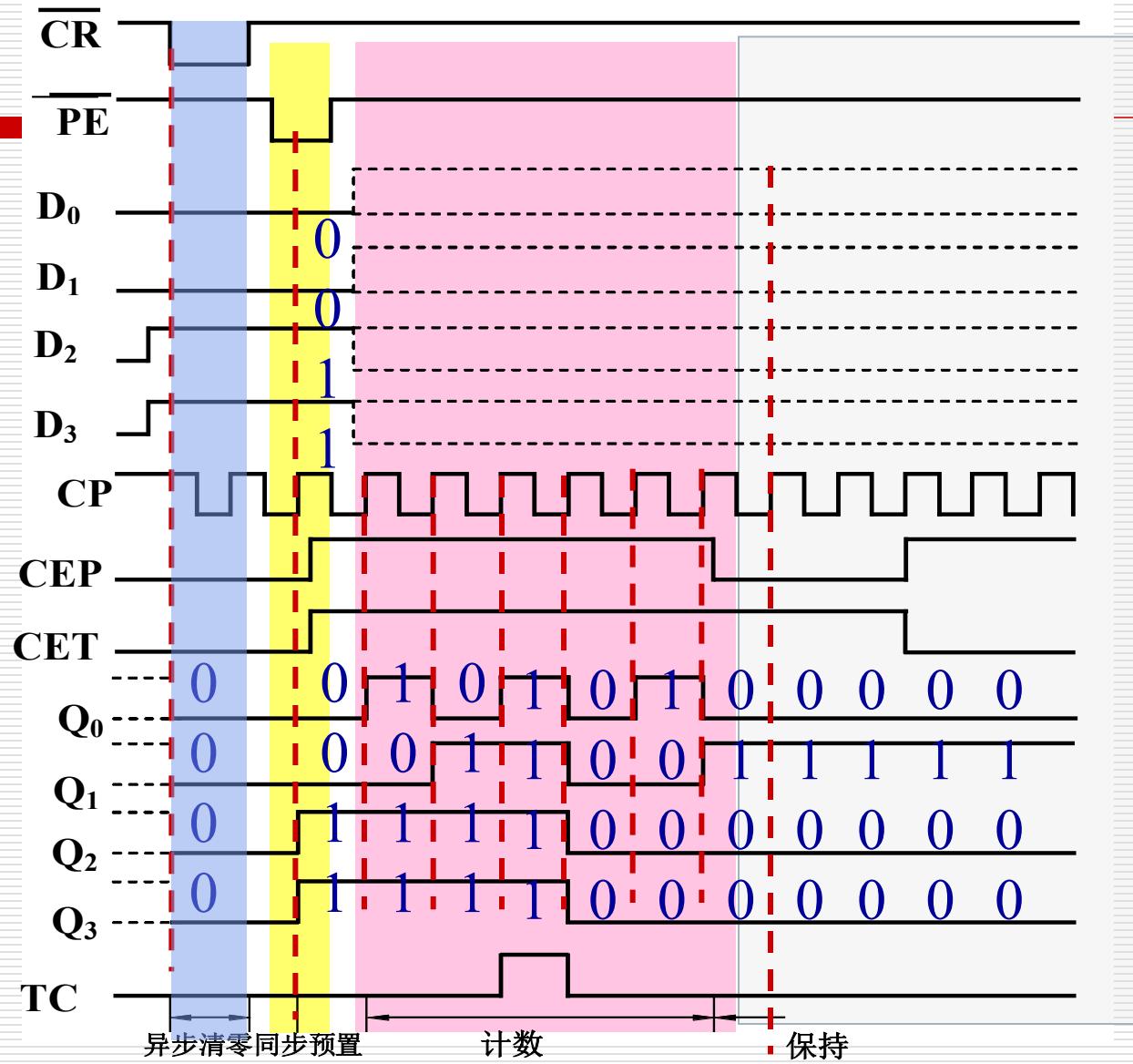
- 保持原有状态不变

$$Q_3^{n+1} \ Q_2^{n+1} \ Q_1^{n+1} \ Q_0^{n+1} = Q_3^n \ Q_2^n \ Q_1^n \ Q_0^n$$

- 计数

CP 每来一个上升沿，计数器的数值增1。

时序图



$$TC = CET \cdot Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$$

74LVC161逻辑功能表

		输入				输出							
清零	预置	使能		时钟	预置数据输入				计数				进位
\overline{CR}	\overline{PE}	CEP	CET	CP	D_3	D_2	D_1	D_0	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	TC
L	x	x	x	x	x	x	x	x	L	L	L	L	L
H	L	x	x	↑	D_3	D_2	D_1	D_0	D_3	D_2	D_1	D_0	*
H	H	L	x	x	x	x	x	x	保	持			*
H	H	x	x	x	x	x	x	x	保	持			*
H	H	H						x		计	数		*

CR和PE的作用，引出之后的应用：即用161构建任意进制计数器

CR的作用？

1、设置初始状态为0000

2、在计数过程中置0，去除若干状态，构成任意进制计数器

PE的作用？

1、设置初始状态为 $D_3D_2D_1D_0$

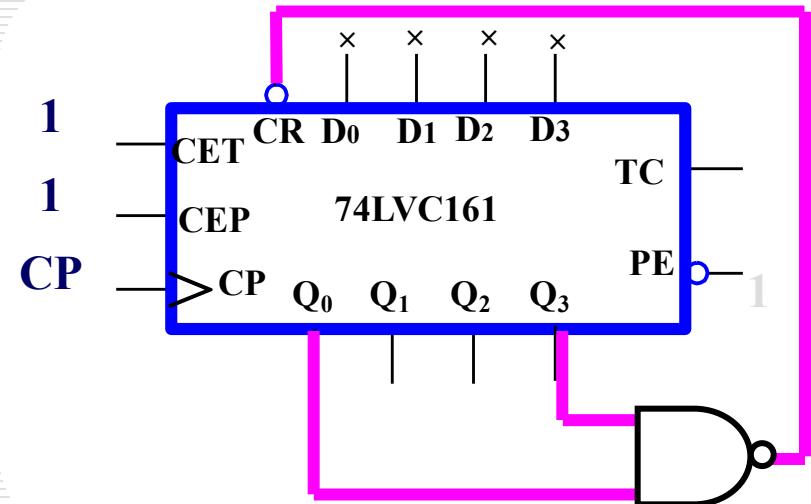
2、在计数过程中置数，去除若干状态，构成任意进制计数器

3) 应用

例 用74LVC161构成九进制加计数器。

(a) 反馈清零法：利用异步置零输入端，在M进制计数器的计数过程中，跳过M-N个状态，得到N进制计数器的方法。

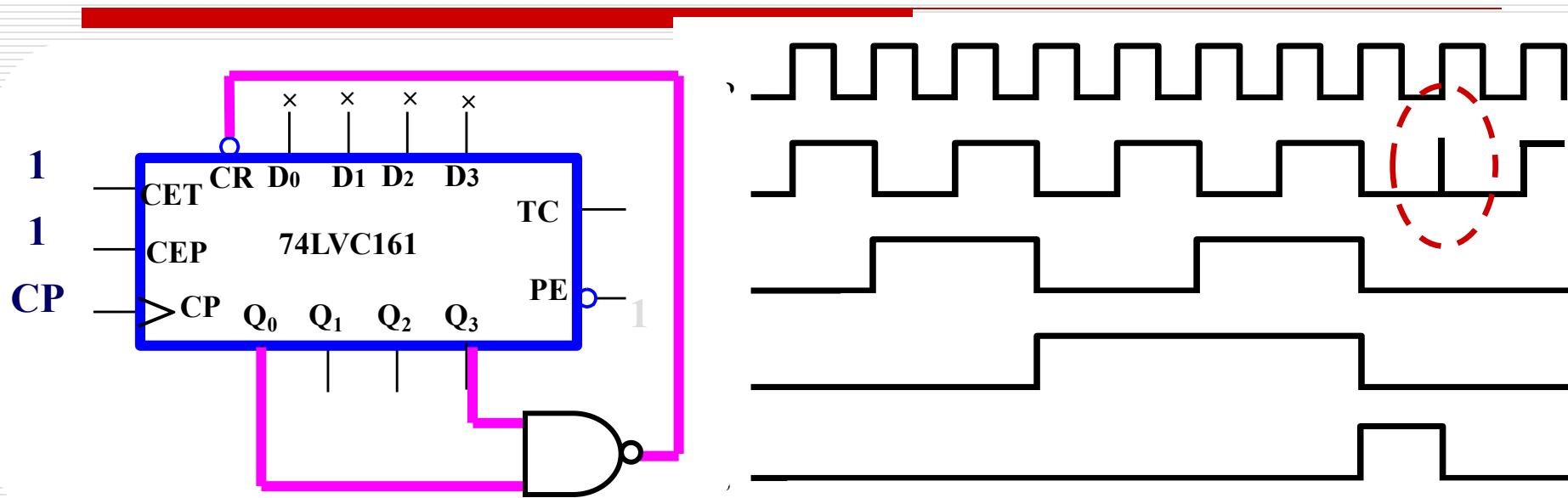
CP	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
...			
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
...	...			
15	1	1	1	1



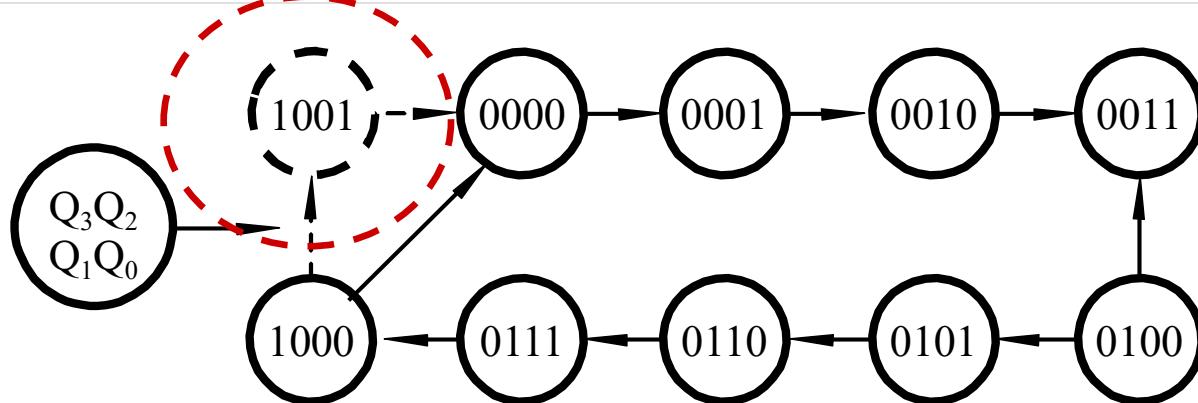
$$CR = \overline{Q_0 \cdot Q_1} = 0$$

设法跳过 $16-9=7$ 个状态

工作波形



状态图

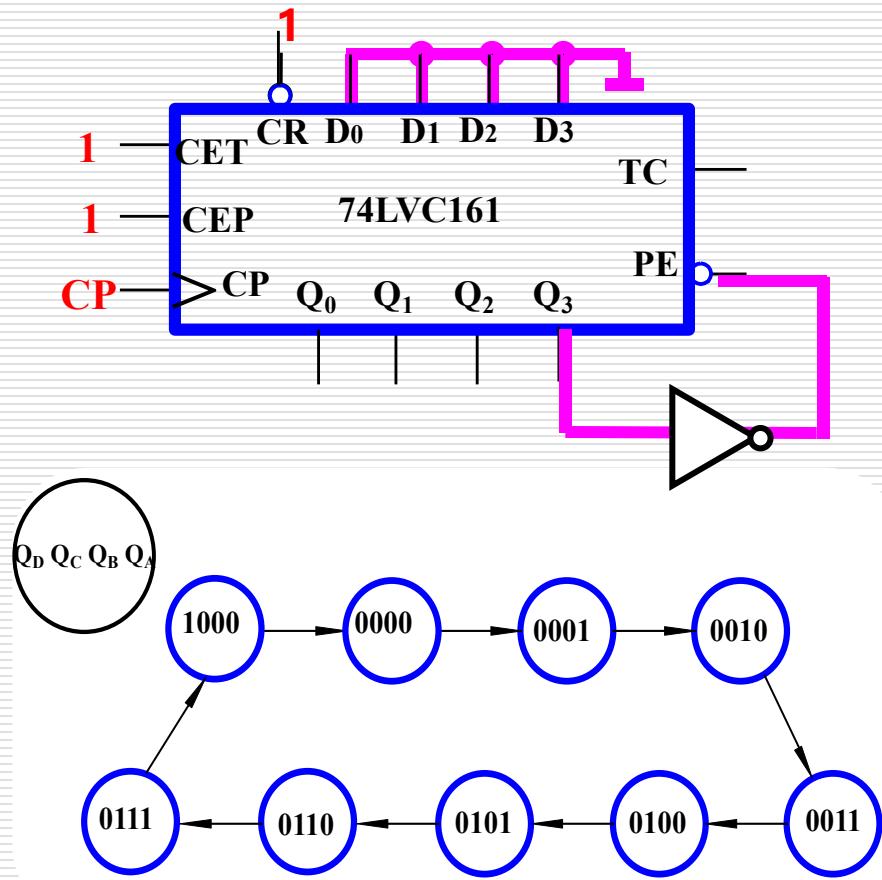


利用同步置数端构成九进制计数器

(b) 反馈置数法:利用同步置数端, 在M进制计数器的计数过程中, 跳过M-N个状态, 得到N进制计数器的方法。

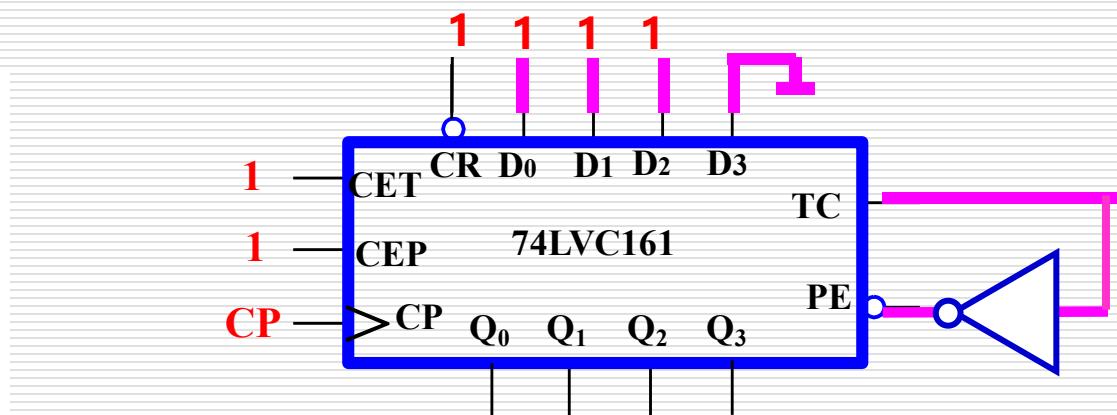
CP	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
...			
8	1	0	0	0

$$PE = \overline{Q_3} = 0$$

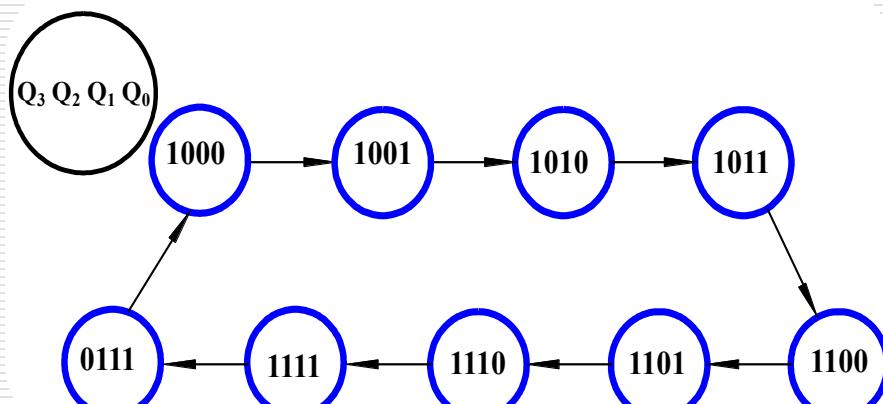


采用后九种状态作为有效状态，用反馈置数法 构成九进制加计数器。

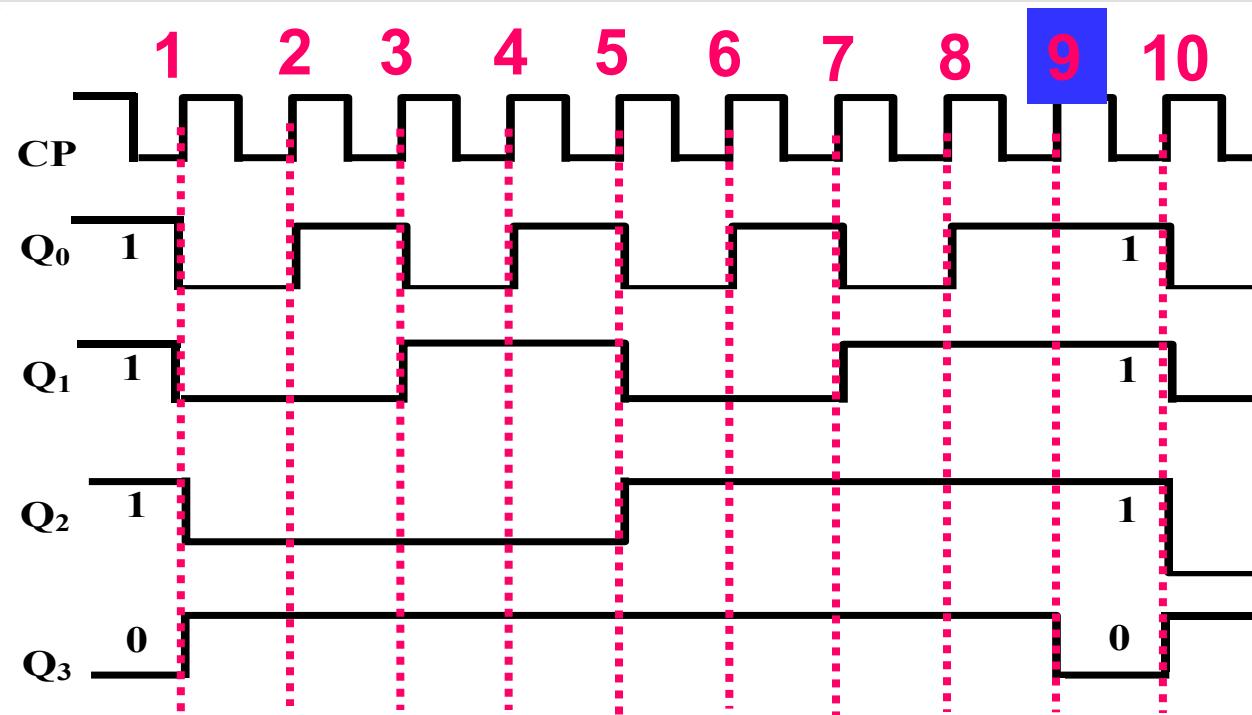
	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	1	1	1
1	1	0	0	0
2	1	0	0	1
3	1	0	1	0
4	1	0	1	1
5	1	1	0	0
6	1	1	0	1
7	1	1	1	0
8	1	1	1	1



$$TC = CET \cdot Q_3 \cdot Q_2 \cdot Q_1 \cdot Q_0 = 1$$



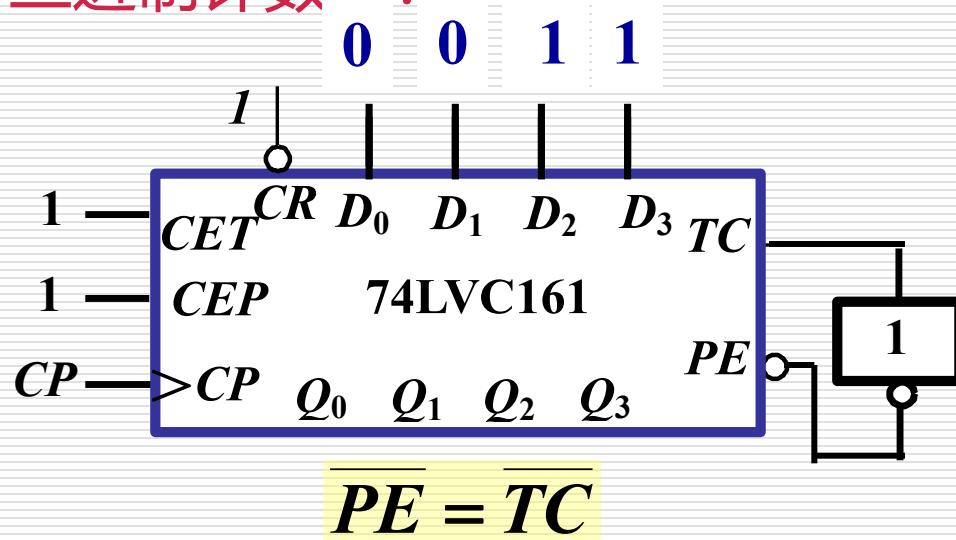
波形图：



该计数器的模为9。

采用相同的方法,如何构成十进制计数器?

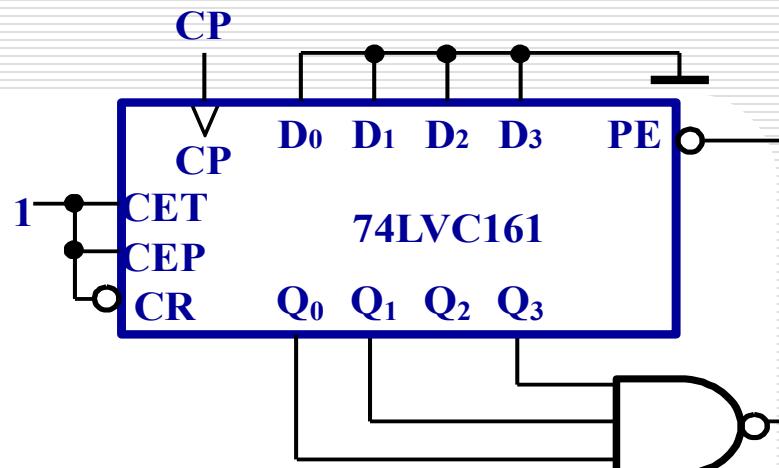
采用相同的方法,如何构成十三进制计数器?



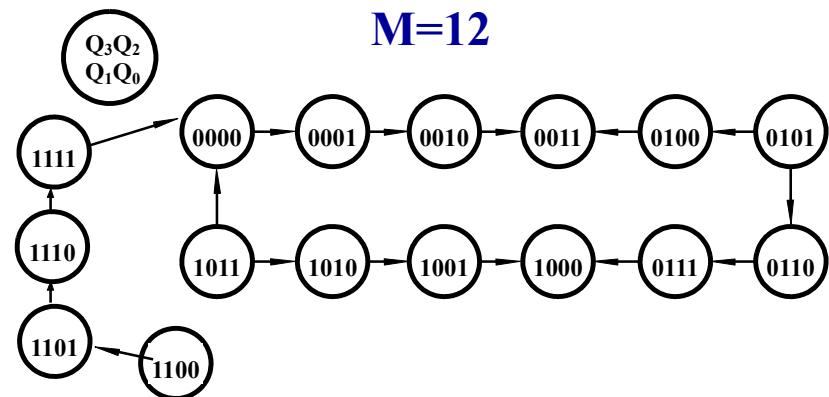
$$\overline{PE} = \overline{TC}$$

计数顺序	电路状态			
	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1
16	0	0	0	0

分析下图所示的时序逻辑电路，试画出其状态图和在CP脉冲作用下 Q_3 、 Q_2 、 Q_1 、 Q_0 的波形，并指出计数器的模是多少？



$$PE = \overline{Q_3 \cdot Q_1 \cdot Q_0} = 0$$



思考：当要设计的计数器的模>16，如何用74161实现？

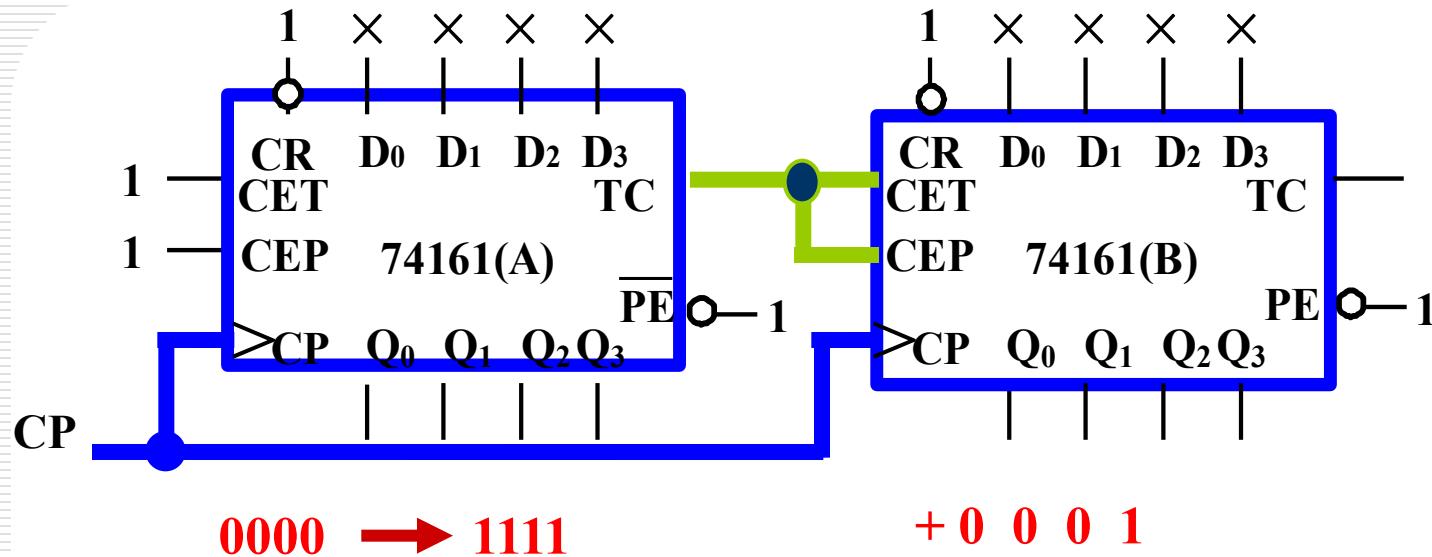
例 用74VC161组成256进制计数器。

解：设计思想

- 1片74161是16进制计数器
- $256 = 16 \times 16$
- 所以256进制计数器需用两片74161构成
- 片与片之间的连接通常有两种方式：

{ 并行进位 (低位片的进位信号作为高位片的使能信号)
串行进位 (低位片的进位信号作为高位片的时钟脉冲,
即异步计数方式)

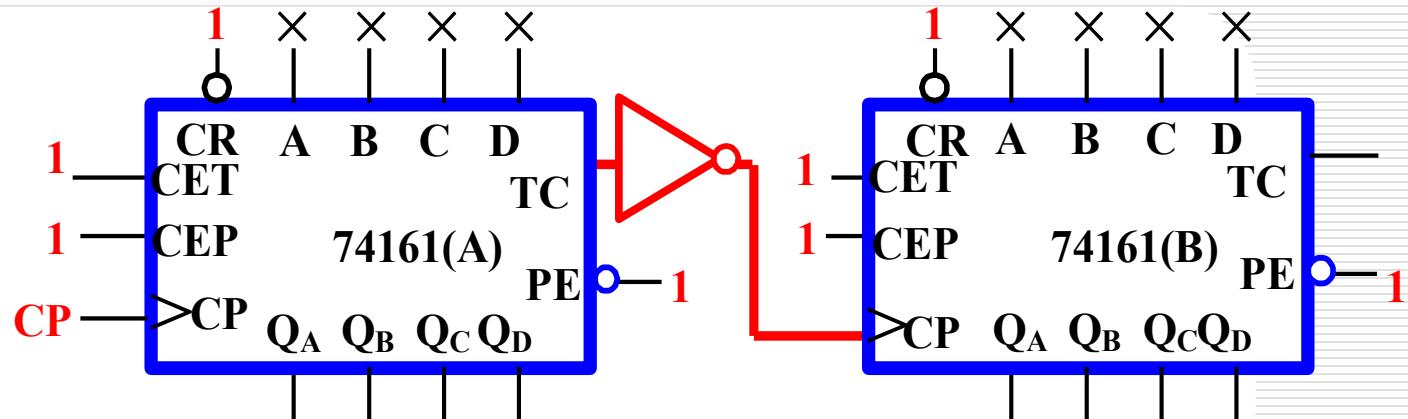
并行进位：低位片的进位作为高位片的使能



计数状态 : 0000 0000 ~ 1111 1111

$$N = 16 \times 16 = 256$$

串行进位：低位片的进位作为高位片的时钟



$$\begin{array}{r} 0000 \end{array} \xrightarrow{\hspace{1cm}} \begin{array}{r} 1111 \end{array} \quad \begin{array}{r} + 0 \ 0 \ 0 \ 1 \end{array}$$

计数状态 : 0000 0000 ~ 1111 1111

采用串行进位时，为什么低TC要经反相器后作为高位的CP？

其它集成计数器

几种常用的集成电路计数器

CP引入方式	型号	计数模式	清零方式	预置数方式
同步	74xx161	4位二进制加法	异步 (L)	同步(L)
	74xx163	4位二进制加法	同步 (L)	同步(L)
	74xx160	十进制加法	异步 (L)	同步(L)
	74xx162	十进制加法	同步 (L)	同步(L)
	74xx191	单时钟4位二进制可逆	无	异步(H)
	74xx193	双时钟4位二进制可逆	异步 (H)	异步(L)
	74xx190	单时钟十进制可逆	无	异步(H)
	74xx192	双时钟十进制可逆	异步 (H)	异步(L)
异步	74xx293	2-8-16进制加法	异步	无
	74xx290	2-5-10进制加法	异步	异步置9

小结

用集成计数器构成任意进制计数器的一般方法

1) $N < M$ 的情况 :

(已有的集成计数器是 M 进制, 需组成的是 N 进制计数器)

实现的方法:

反馈清零法

利用清零输入端, 使电路计数到某状态时产生清零操作, 清除 $M-N$ 个状态实现 N 进制计数器。

反馈置数法

利用计数器的置数功能, 通过给计数器重复置入某个数码的方法减少 $(M-N)$ 个独立状态, 实现 N 进制计数器。

2) $N > M$ 的情况

实现的方法：——采用多片M进制计数器构成。

按芯片连接方式可分为：

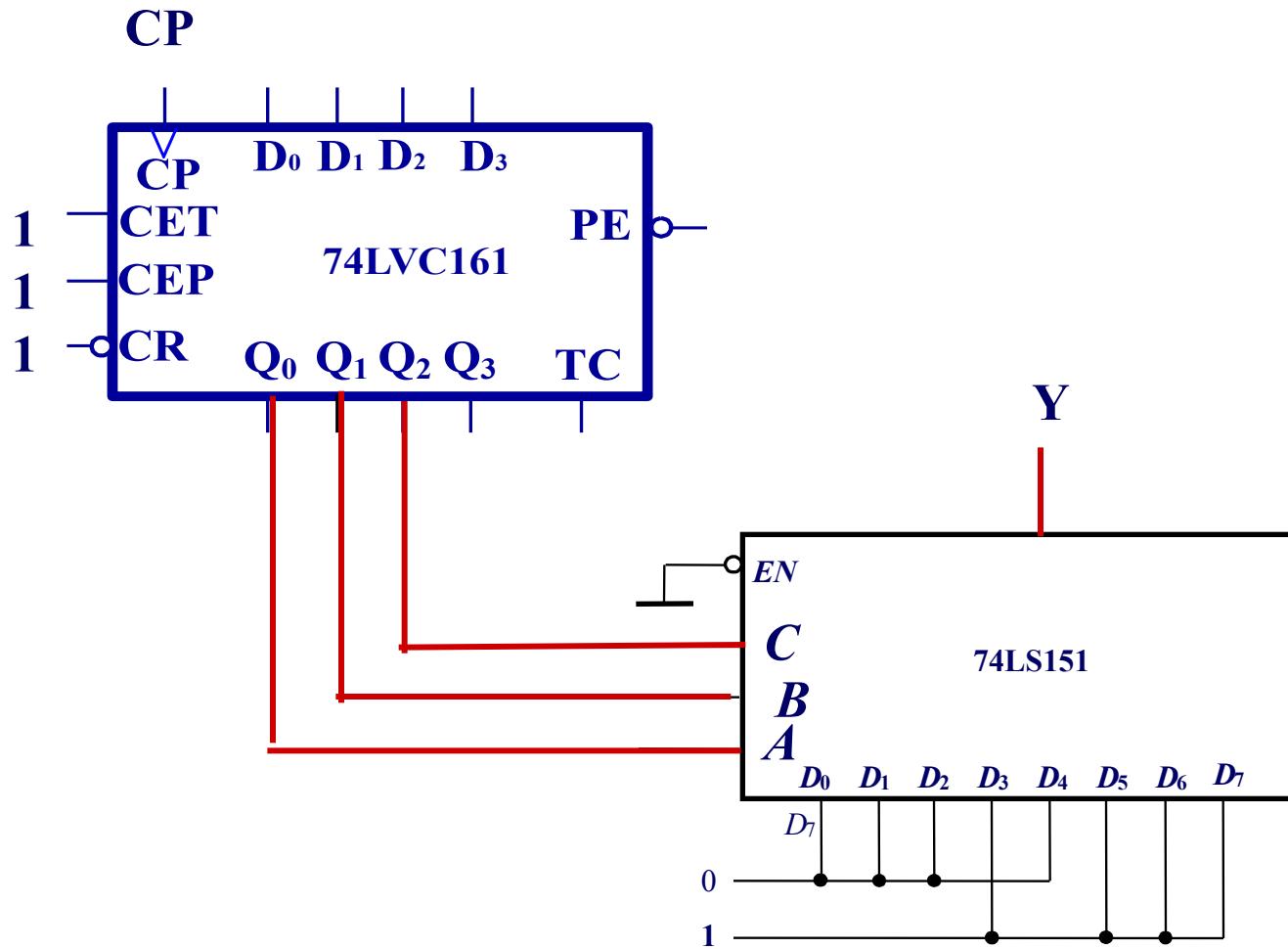
(1) 串行进位方式： 构成异步计数器

(2) 并行进位方式： 构成同步计数器

应用举例

序列信号发生器

在CP的作用下，Y端产生00010111循环序列信号



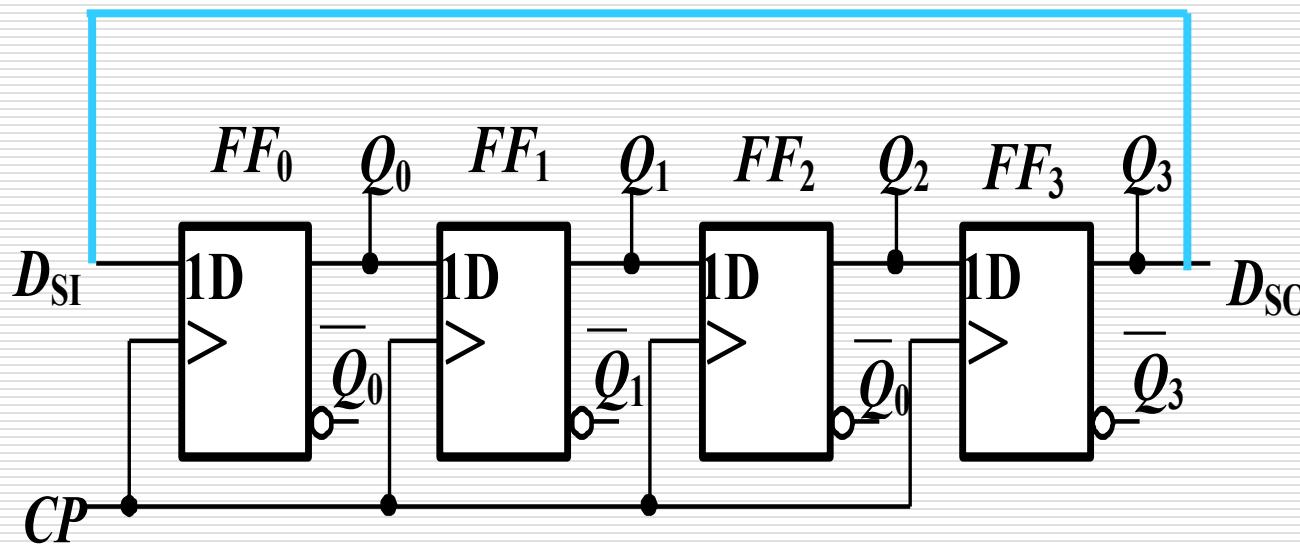
如要求Y端产生10110010循环序列信号，如何改变电路的连接？

3. 环形计数器

(1) 工作原理

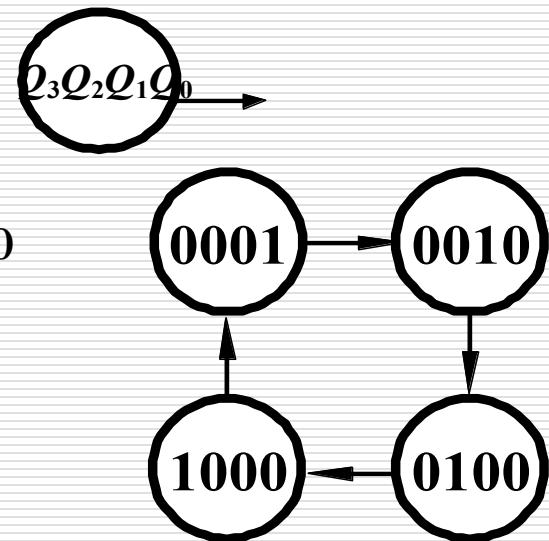
① 基本环形计数器

置初态 $Q_3Q_2Q_1Q_0=0001$,



第一个CP: $Q_3Q_2Q_1Q_0=0010$,
第二个CP: $Q_3Q_2Q_1Q_0=0100$,
第三个CP: $Q_3Q_2Q_1Q_0=1000$,
第四个CP: $Q_3Q_2Q_1Q_0=0001$,
第五个CP: $Q_3Q_2Q_1Q_0=0010$,

状态图

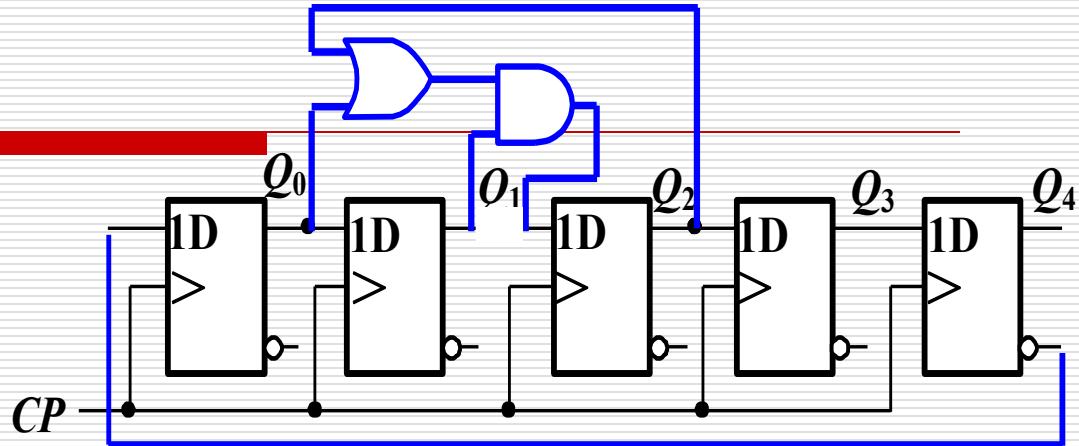
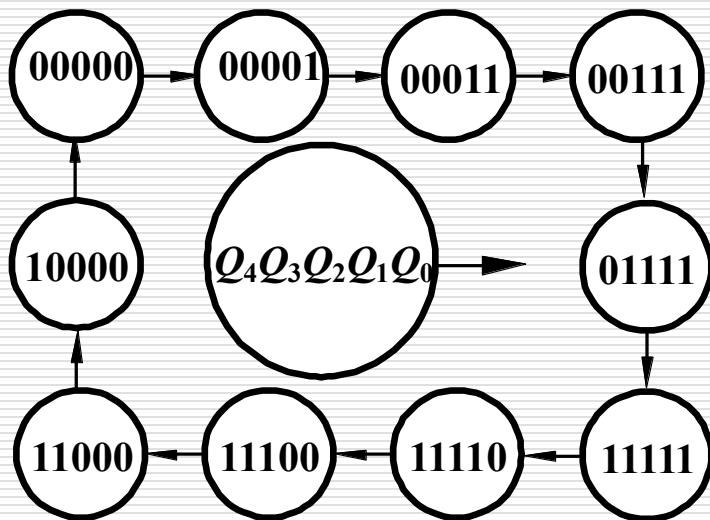


② 扭环形计数器

a、电路

b、状态表

c、状态图



状态编号	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	1
4	0	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0
7	1	1	1	0	0
8	1	1	0	0	0
9	1	0	0	0	0

状态编号	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	1
4	0	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0
7	1	1	1	0	0
8	1	1	0	0	0
9	1	0	0	0	0

$$Y_0 = \overline{Q}_4 \overline{Q}_0$$

$$Y_1 = \overline{Q}_1 Q_0$$

$$Y_2 = \overline{Q}_2 Q_1$$

$$Y_3 = \overline{Q}_3 Q_2$$

$$Y_4 = \overline{Q}_4 Q_3$$

$$Y_5 = Q_4 Q_0$$

$$Y_6 = Q_1 \overline{Q}_0$$

$$Y_7 = Q_2 \overline{Q}_1$$

$$Y_8 = Q_3 \overline{Q}_2$$

$$Y_9 = Q_4 \overline{Q}_3$$

译码电路简单,且不会出现竞争冒险