

数字逻辑设计

王鸿鹏

计算机科学与技术学院

wanghp@hit.edu.cn

利用**中规模集成电路**设计时序逻辑电路

■ 计数器芯片

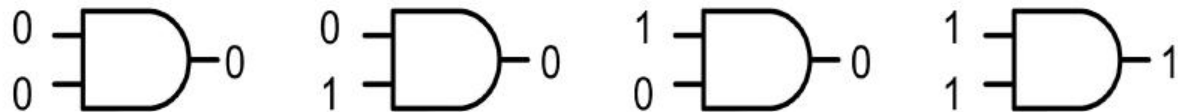
- 计数器芯片简单应用
- 计数器芯片的级联
- 计数器芯片的综合应用

■ 寄存器芯片

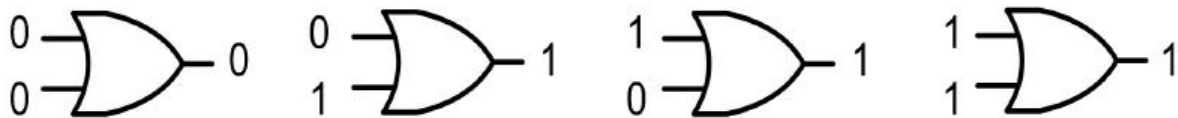
■ 综合应用——序列信号发生器的设计

逻辑电路和集成门电路

(a) AND Gate 与门



(b) OR Gate 或门

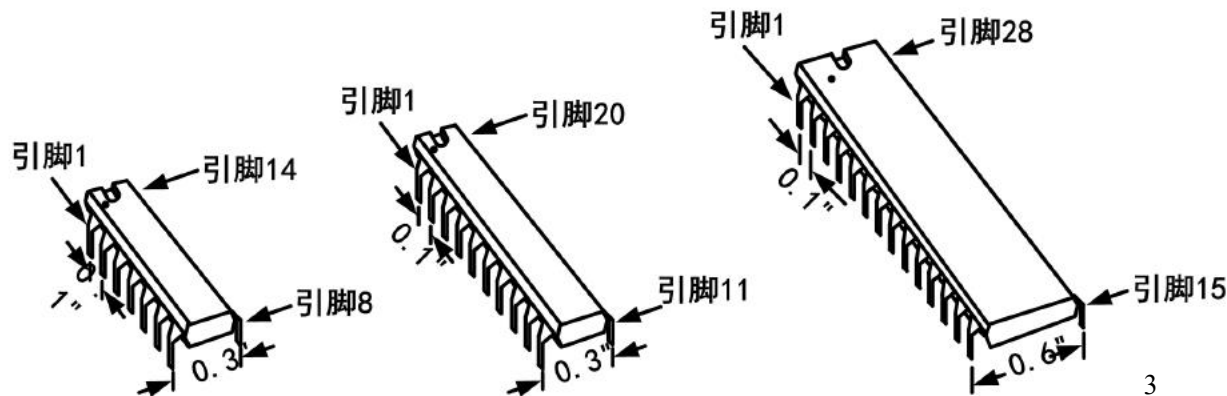


(c) NOT Gate/Inverter
非门/反相器



双列直插式封装DIP

(Dual Inline-pin Package)



集成电路的规模

- 小规模集成电路: 1-20 门
(Small-Scale Integration)
- 中规模集成电路: 20-200 门
(Medium-Scale Integration)
- 大规模集成电路: 200-1,000,000 门
(Large-Scale Integration)
- 超大规模集成电路(VLSI): 100 万 门以上
(Very Large-Scale Integration)

常用中规模计数器芯片

- 同步十进制加法计数器：74LS160（异步清零），74LS162（同步清零）
- 同步4位二进制加法计数器：74LS161（异步清零），74LS163（同步清零）
- 异步二-五-十进制加法计数器：74LS90（异步清零），74LS290（异步清零）
- 同步十进制加/减计数器：74LS192（双时钟），74LS190（单时钟）
- 同步4位二进制加/减计数器：74LS193（双时钟），74LS191（单时钟）

置数功能

时钟边沿到来时，且置数使能信号有效，向计数器装入用户指定的初始值

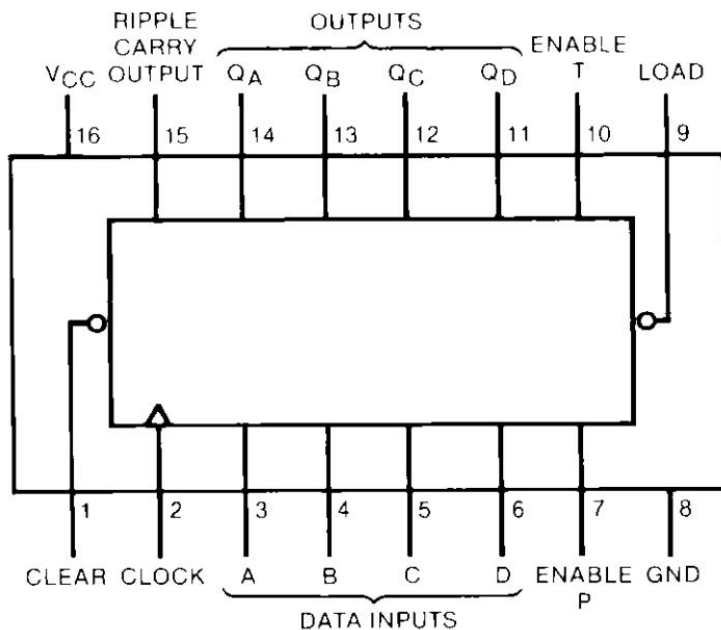
芯片型号	计数进制	输出特点	置数方式	清零方式
74LS160	十进制	8421BCD码	同步	异步
74LS161	十六进制	4位二进制码	同步	异步
74LS162	十进制	8421BCD码	同步	同步
74LS163	十六进制	4位二进制码	同步	同步

清零只需要1个条件：清零端给有效信号立即清零

清零需要2个条件同时具备：清零端给有效信号+时钟边沿到来

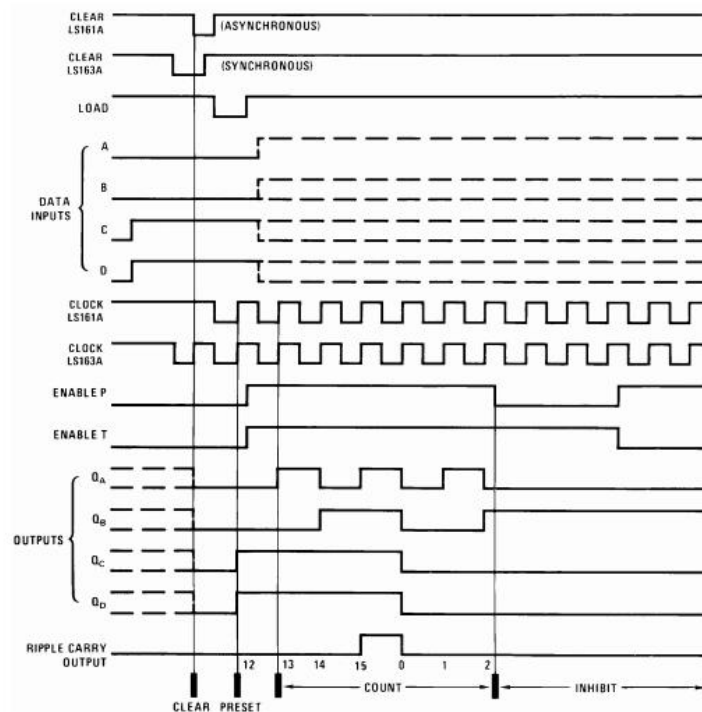
芯片手册 datasheet

引脚图



Timing Diagram

LS161A, LS163A Synchronous Binary Counters
Typical Clear, Preset, Count and Inhibit Sequences

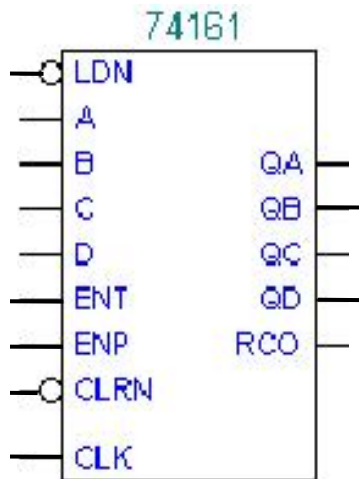


Sequence:

- (1) Clear outputs to zero
- (2) Preset to binary twelve
- (3) Count to thirteen, fourteen, fifteen, zero, one, and two
- (4) Inhibit

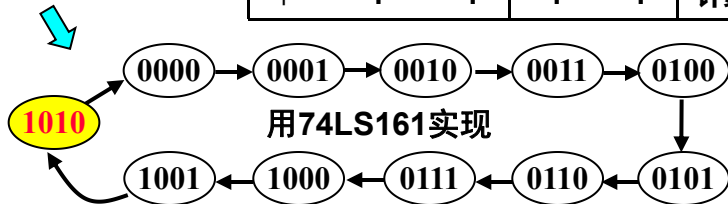
用计数器芯片74160设计模10计数器

① 清零法



异步清零只需要1个条件：
清零端给有效信号立即回零

设计M进制计数器：
需要M+1个状态



1010只在极短的瞬态出现，不包括在稳定的循环中

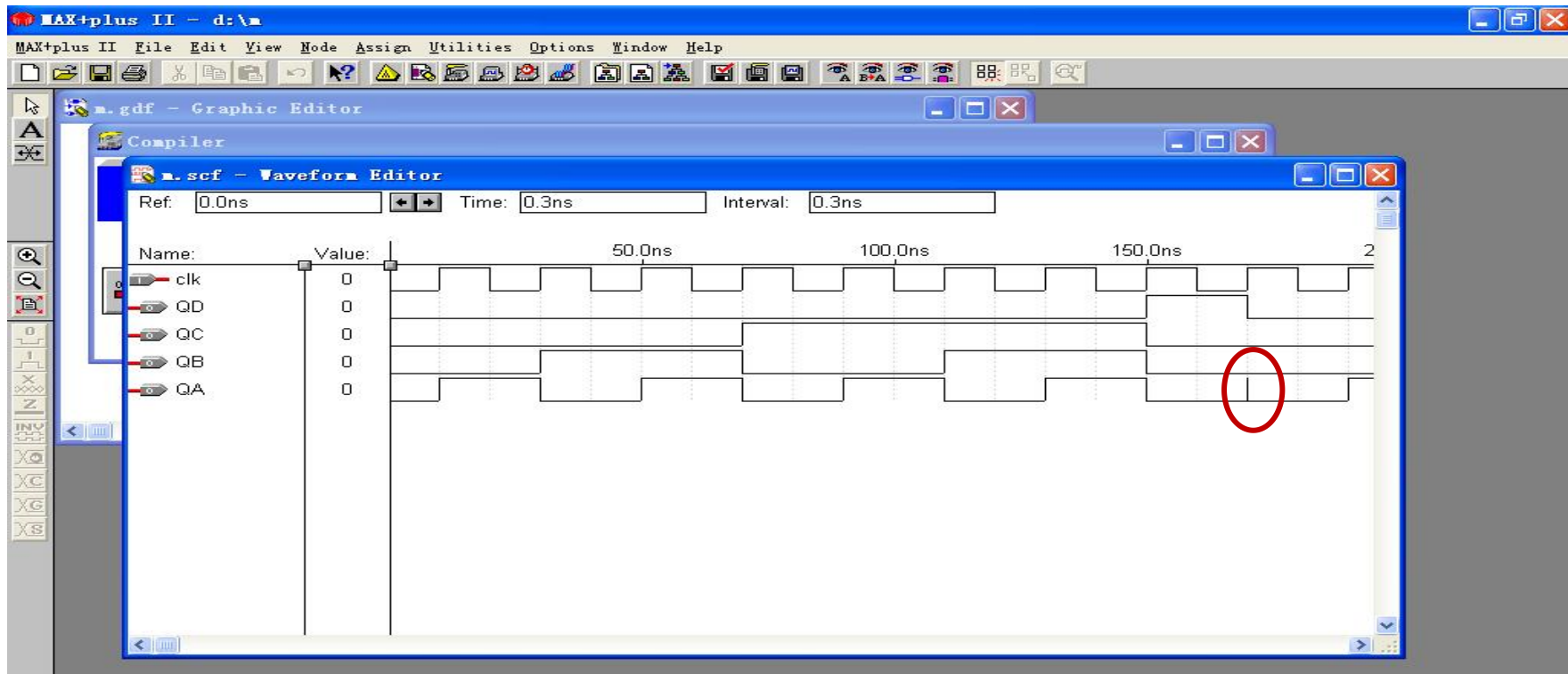
芯片型号	计数进制	输出特点	置数方式	清零方式
74LS160	十进制	8421BCD码	同步	异步
74LS161	十六进制	4位二进制码	同步	异步
74LS162	十进制	8421BCD码	同步	同步
74LS163	十六进制	4位二进制码	同步	同步

74LS161/160功能表

输入					输出			
CP	CLR _N	LD _N	ENT	ENP	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
X	0	X	X	X	0	0	0	0
↑	1	0	X	X	D	C	B	A
X	1	1	0	X	保持			
X	1	1	X	0	保持			
↑	1	1	1	1	计数,计满时RCO=1			

不加多余状态的波形图

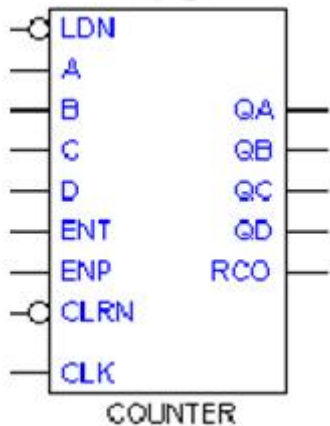
- 如果不多加一个状态1010，那么1001状态只持续很短的时间就被清零了。



利用74LS163 设计模10计数器

芯片型号	计数进制	输出特点	置数方式	清零方式
74LS160	十进制	8421BCD码	同步	异步
74LS161	十六进制	4位二进制码	同步	异步
74LS162	十进制	8421BCD码	同步	同步
74LS163	十六进制	4位二进制码	同步	同步

① 清零法



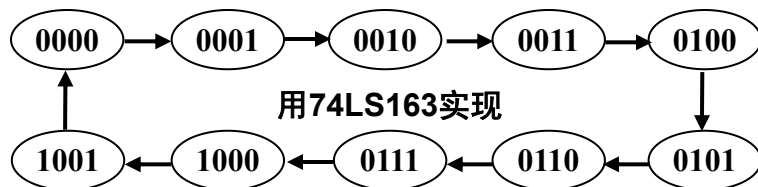
同步清零需2个条件:

- 清零端给有效信号
- 时钟有效沿到来

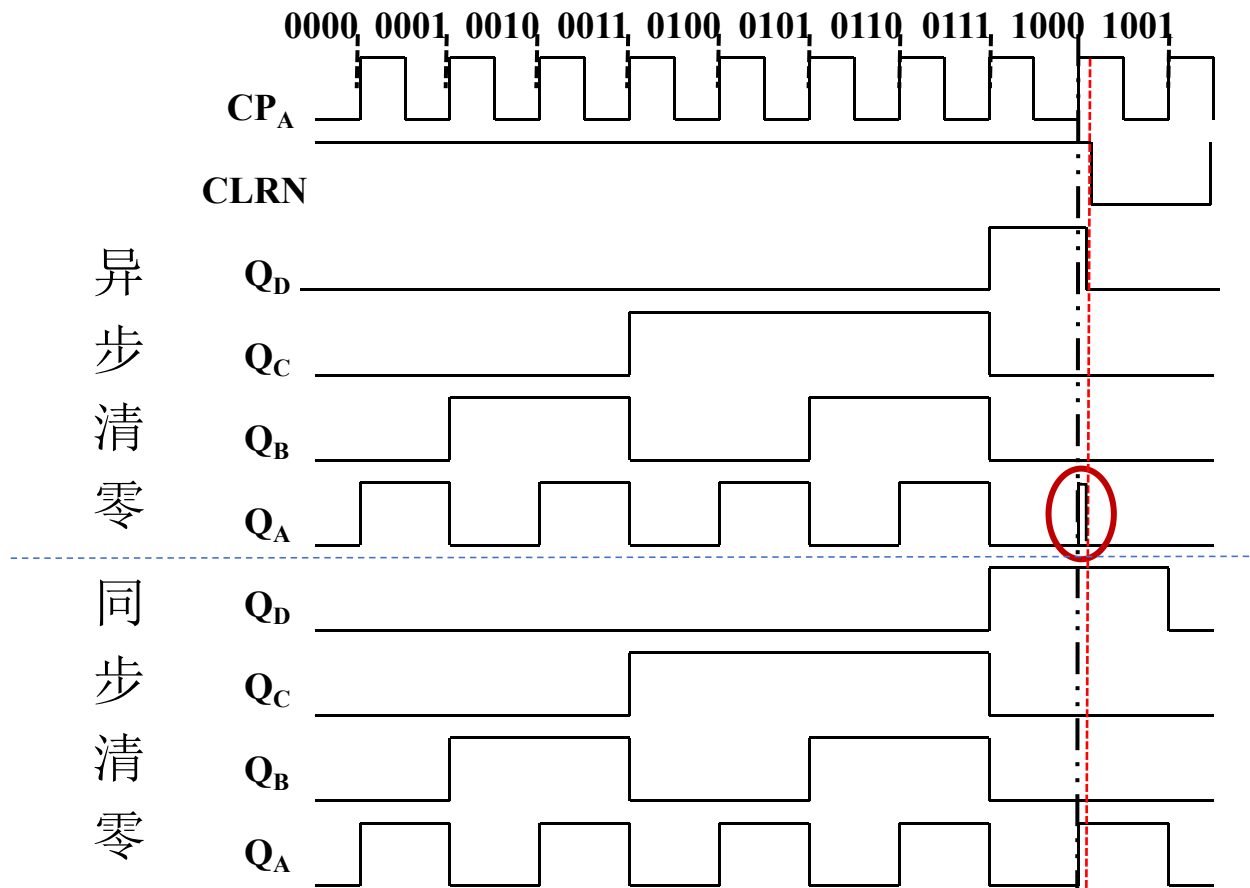
设计M进制计数器:
需要M个状态

74LS163/162功能表

输入					输出			
CP	CLR _N	LD _N	ENT	ENP	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
↑	0	X	X	X	0	0	0	0
↑	1	0	X	X	D	C	B	A
X	1	1	0	X	保持			
X	1	1	X	0	保持			
↑	1	1	1	1	计数, 计满时RCO=1			



同步清零 vs 异步清零的波形图



用置数法设计模10计数器

74LS161/160功能表

输入					输出			
CP	CLR _N	LD _N	ENT	ENP	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
X	0	X	X	X	0	0	0	0
↑	1	0	1	0	D	C	B	A
X	1	1	0	X	保持			
X	1	1	X	0	保持			
↑	1	1	1	1	计数, 计满时RCO=1			

74LS163/162功能表

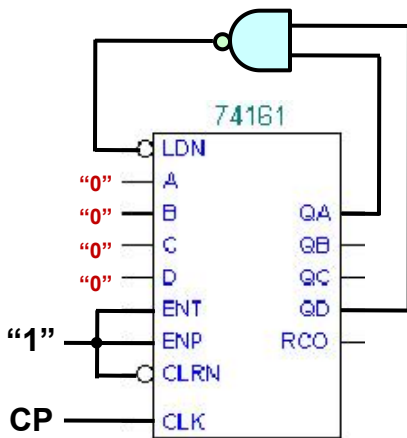
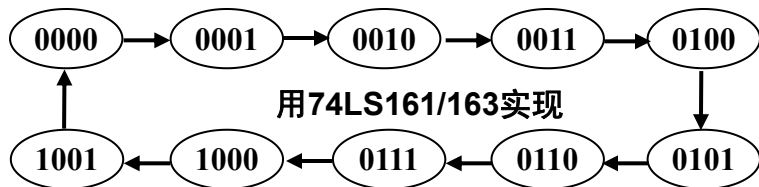
输入					输出			
CP	CLR _N	LD _N	ENT	ENP	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
↑	0	X	X	X	0	0	0	0
↑	1	0	1	0	D	C	B	A
X	1	1	0	X	保持			
X	1	1	X	0	保持			
↑	1	1	1	1	计数, 计满时RCO=1			

芯片型号	计数进制	输出特点	置数方式	清零方式
74LS160	十进制	8421BCD码	同步	异步
74LS161	十六进制	4位二进制码	同步	异步
74LS162	十进制	8421BCD码	同步	同步
74LS163	十六进制	4位二进制码	同步	同步

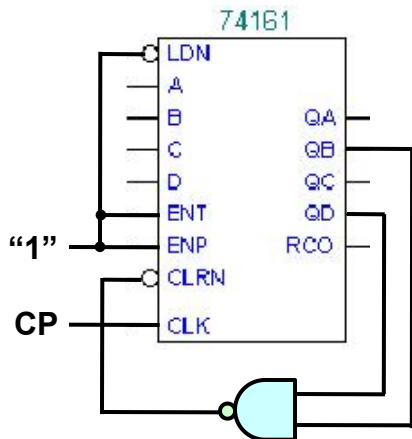
例：利用74LS161或74163设计模10 计数器

② 置数法

设计M进制计数器
：需要M个状态

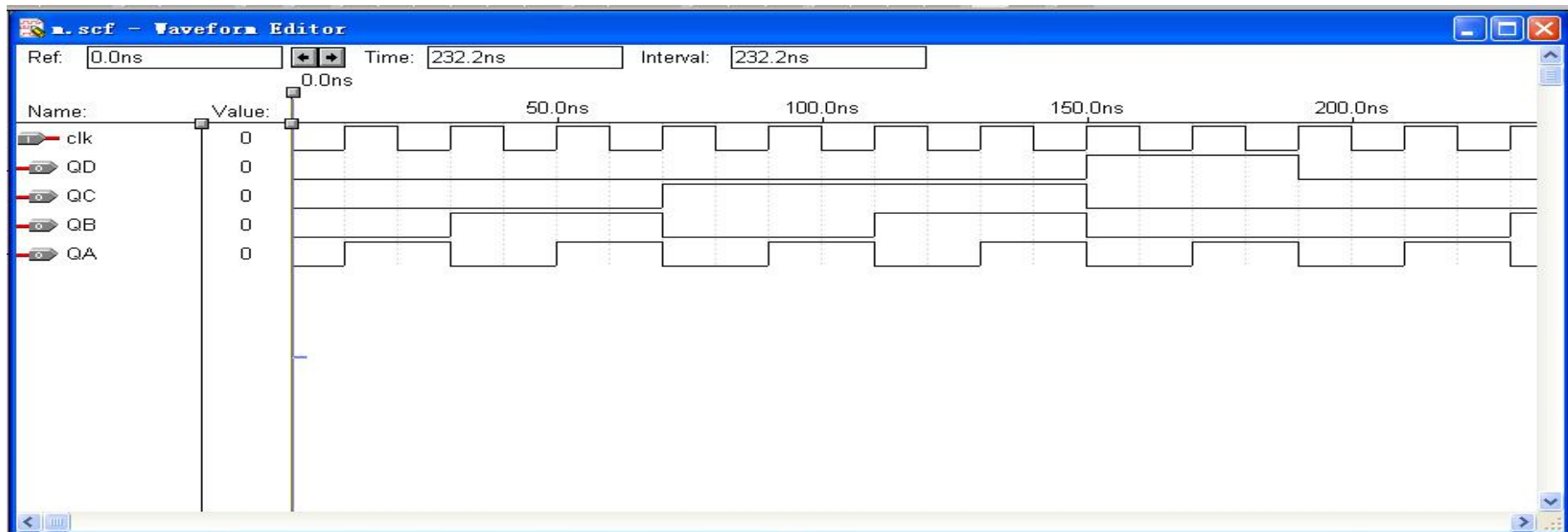


置数法



异步清零法 11

模10计数器波形图



利用中规模芯片设计时序逻辑电路

■ 计数器芯片

- 计数器芯片简单应用
- 计数器芯片的级联
- 计数器芯片的应用

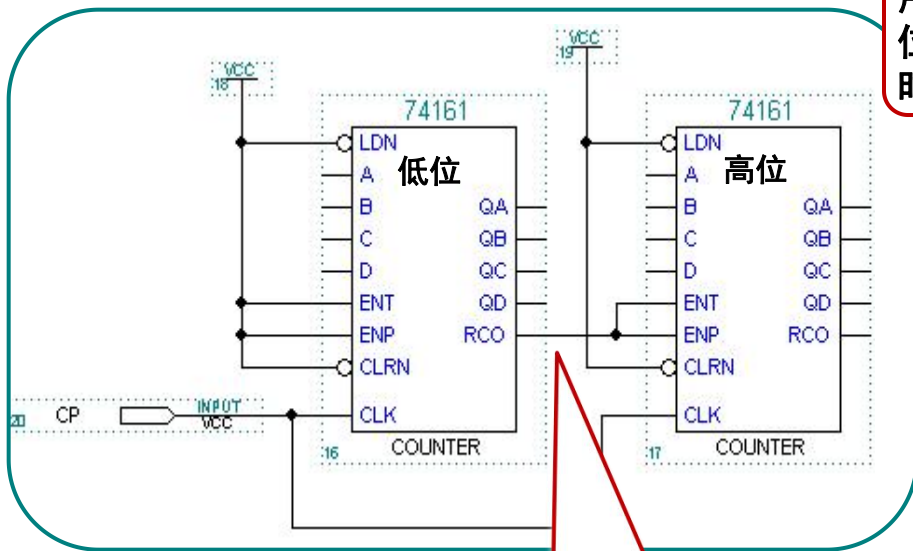
■ 寄存器芯片

■ 综合应用——序列信号发生器的设计

计数器芯片的级联——利用进位信号

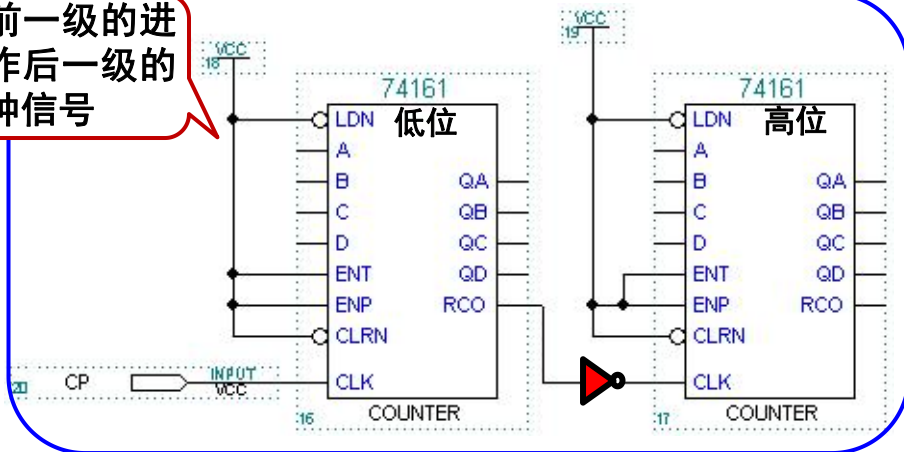
例：利用74LS161设计模256 加法计数器

(1) 同步并行进位连接方式



(2) 异步串行进位连接方式

用前一级的进位作后一级的时钟信号



芯片型号	计数进制	输出特点	置数方式	清零方式
74LS160	十进制	8421BCD码	同步	异步
74LS161	十六进制	4位二进制码	同步	异步
74LS162	十进制	8421BCD码	同步	同步
74LS163	十六进制	4位二进制码	同步	同步

利用74LS160采用置数法设计模60 计数器

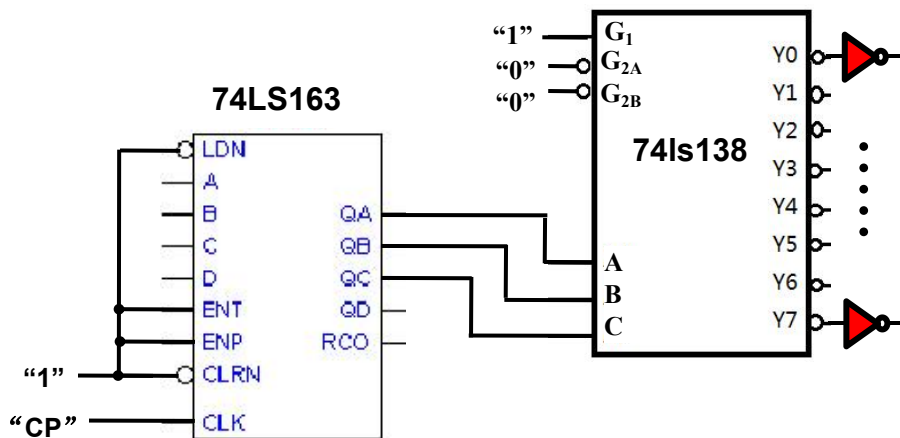
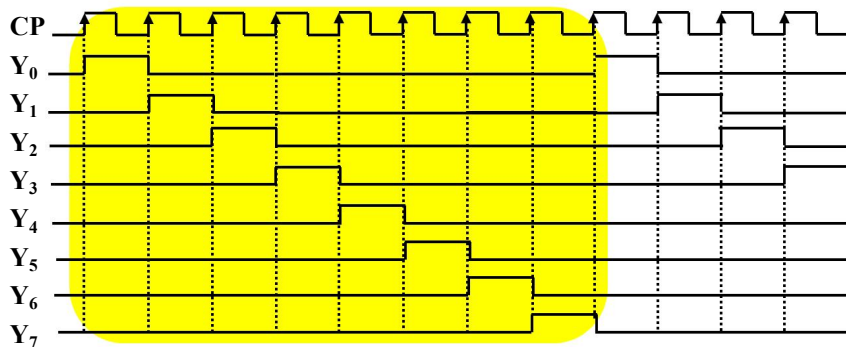
芯片型号	计数进制	输出特点	置数方式	清零方式
74LS160	十进制	8421BCD码	同步	异步
74LS161	十六进制	4位二进制码	同步	异步
74LS162	十进制	8421BCD码	同步	同步
74LS163	十六进制	4位二进制码	同步	同步

[illegible]

计数器芯片的应用——节拍发生器

利用74LS163设计实现一个8节拍发生器

芯片型号	计数进制	输出特点	置数方式	清零方式
74LS160	十进制	8421BCD码	同步	异步
74LS161	十六进制	4位二进制码	同步	异步
74LS162	十进制	8421BCD码	同步	同步
74LS163	十六进制	4位二进制码	同步	同步



波形分析：
一个循环周期之内的波形与
二进制译码器的输出相同
波形循环实现：**计数器**

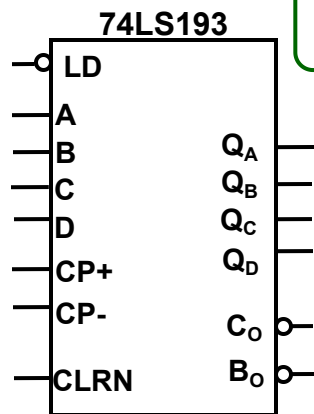


3:8译码器
模8计数器

利用中规模计数器芯片设计时序逻辑电路

计数器芯片

- 同步十进制加法计数器：74LS160（异步清零），74LS162（同步清零）
- 同步4位二进制加法计数器：74LS161（异步清零），74LS163（同步清零）
- 异步二-五-十进制加法计数器：74LS90（异步清零），74LS290（异步清零）
- 同步十进制加/减计数器：74LS192（双时钟），74LS190（单时钟）
- 同步4位二进制加/减计数器：74LS193（双时钟），74LS191（单时钟）



异步清零
异步置数

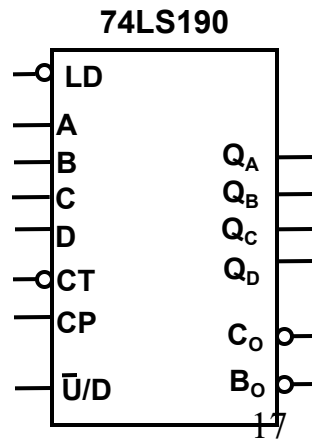
74LS192/193功能表

输入				输出			
CLR _N	LD	CP ₊	CP ₋	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
1	X	X	X	0	0	0	0
0	0	X	X	D	C	B	A
0	1	↑	1	加计数			
0	1	1	↑	减计数			
0	1	1	1	保持			

没有清零端，可借助
异步置数功能实现

74LS190/191功能表

输入				输出			
LD	CT	\bar{U}/D	CP	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
0	X	X	X	D	C	B	A
1	0	0	↑	加计数			
1	0	1	↑	减计数			
1	1	X	X	保持			

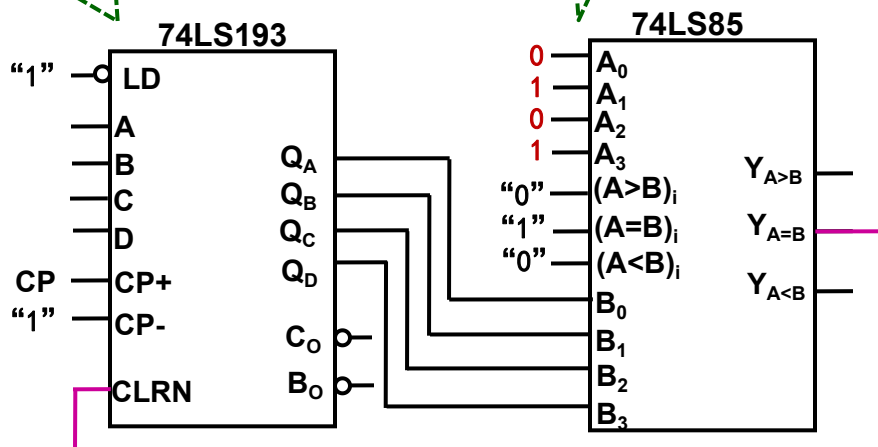


计数器芯片的综合应用—模N计数器

利用一片4位数码比较器74LS85及一片模16计数器芯片74LS193设计一个模N计数器 ($N < 16$)。

193为异步清零，需要多让出一个状态

计数器模值 N



设计思路

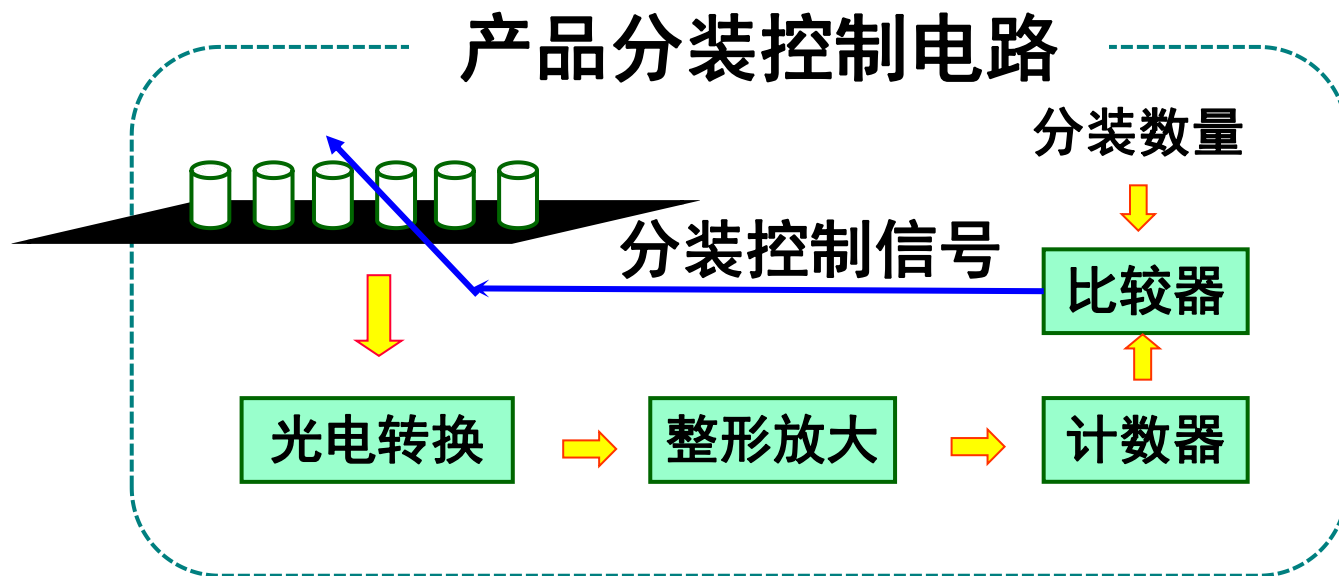
■ 比较器：

$A_3 \sim A_0$ ：输入计数器模值N（例如N=10）

$B_3 \sim B_0$ ：连接计数器当前计数输出值

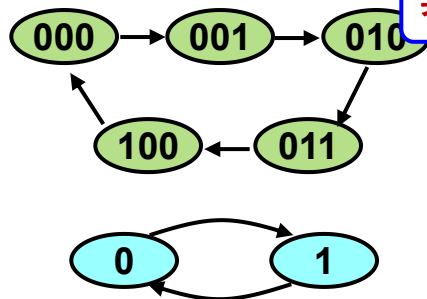
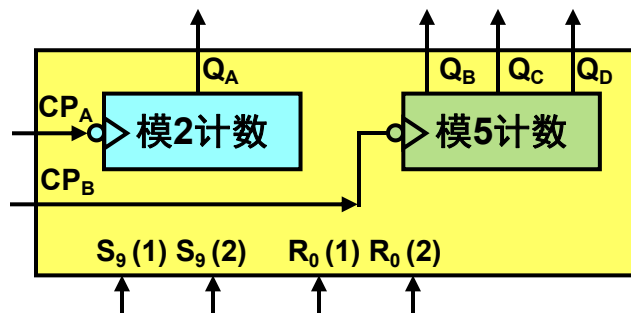
- 如果计数器当前输出值 $Q_D Q_C Q_B Q_A = \text{模值} N$
比较器输出端 $Y_{A=B}=1$ ，该信号使计数器清零

计数器芯片的综合应用



利用中规模计数器芯片设计时序逻辑电路

- 同步十进制加法计数器：74LS160（异步清零），74LS162（同步清零）
- 同步4位二进制加法计数器：74LS161（异步清零），74LS163（同步清零）
- 异步二-五-十进制加法计数器：74LS90（异步清零），74LS290（异步清零）
- 同步十进制加/减计数器：74LS192（双时钟），74LS190（单时钟）
- 同步4位二进制加/减计数器：74LS193（双时钟），74LS191（单时钟）



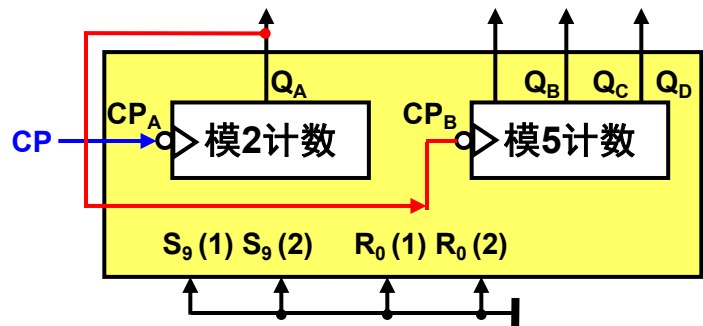
异步清零

74LS90/290功能表

输入					输出			
CP	R ₀ (1)	R ₀ (2)	S ₉ (1)	S ₉ (2)	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
X	1	1	0	X	0	0	0	0
X	1	1	X	0	0	0	0	0
X	X	X	1	1	1	0	0	1
↓	X	0	X	0	计数			
↓	0	X	0	X				
↓	0	X	X	0				
↓	X	0	0	X				

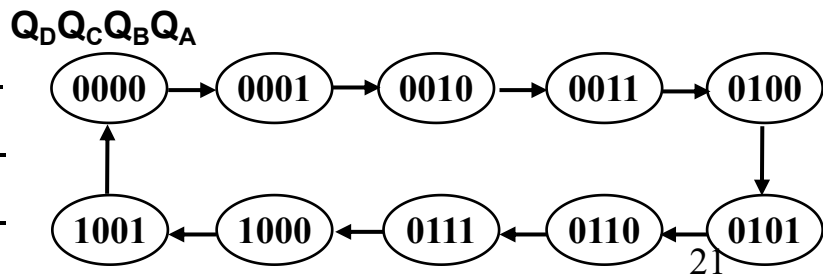
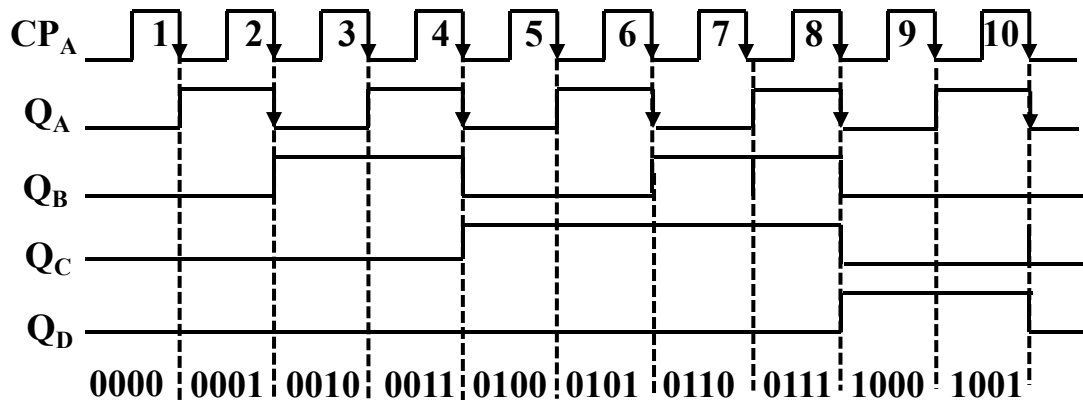
将输出 Q_A 与 CP_B 相接，构成8421BCD码计数器
将输出 Q_D 与 CP_A 相接，构成5421BCD码计数器

计数器芯片应用—8421BCD码模10计数器



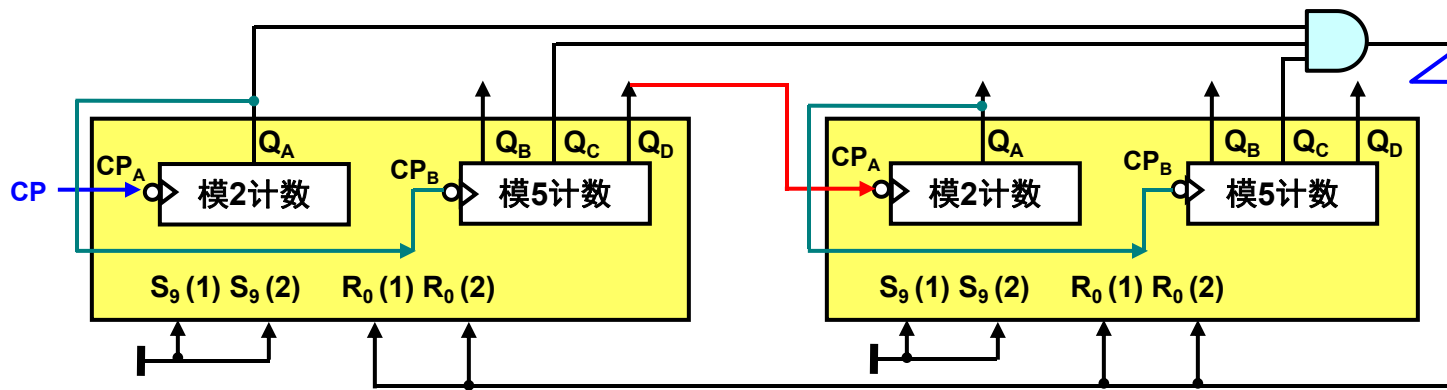
74LS90/290功能表

输入					输出			
CP	R ₀ (1)	R ₀ (2)	S ₉ (1)	S ₉ (2)	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
X	1	1	0	X	0	0	0	0
X	1	1	X	0	0	0	0	0
X	X	X	1	1	1	0	0	1
↓	X	0	X	0	计数			
↓	0	X	0	X				
↓	0	X	X	0				
↓	X	0	0	X				



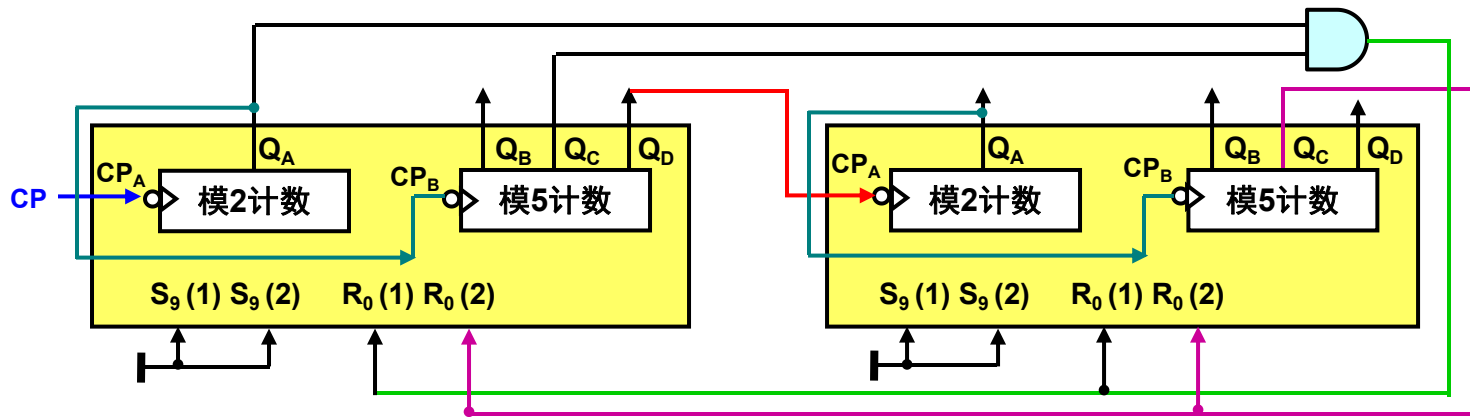
计数器芯片应用——模45 计数器

方案 1:

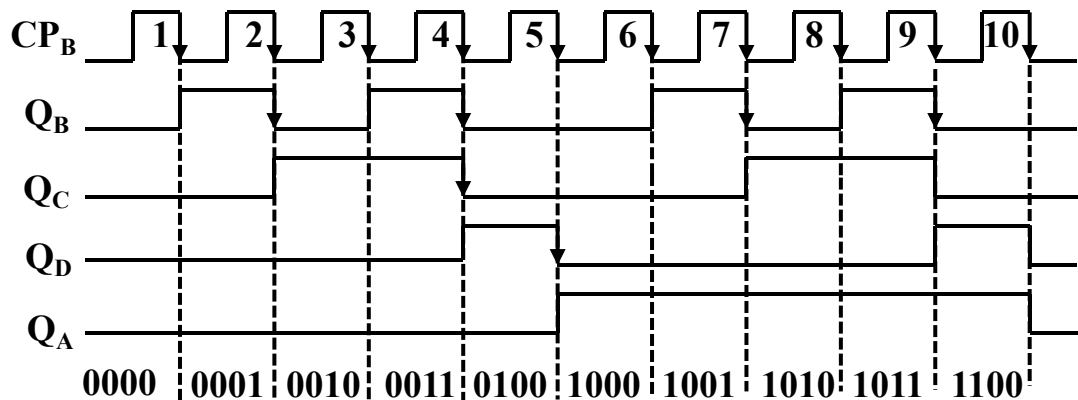
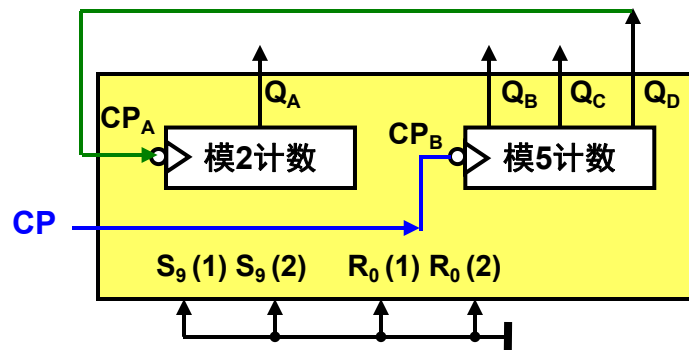
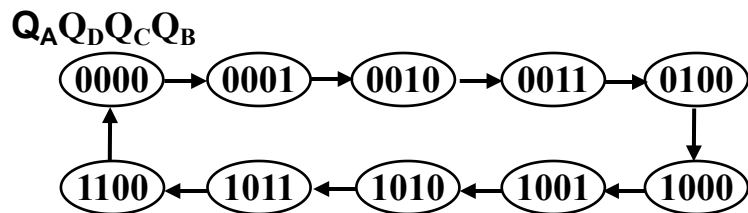


异步清零，
多让出一个状态

方案 2:

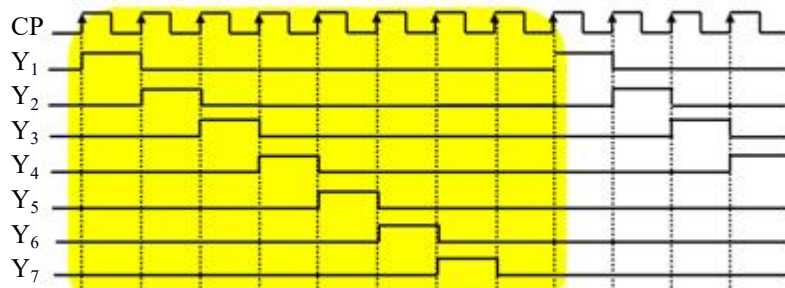


计数器芯片应用——5421BCD码模10计数器



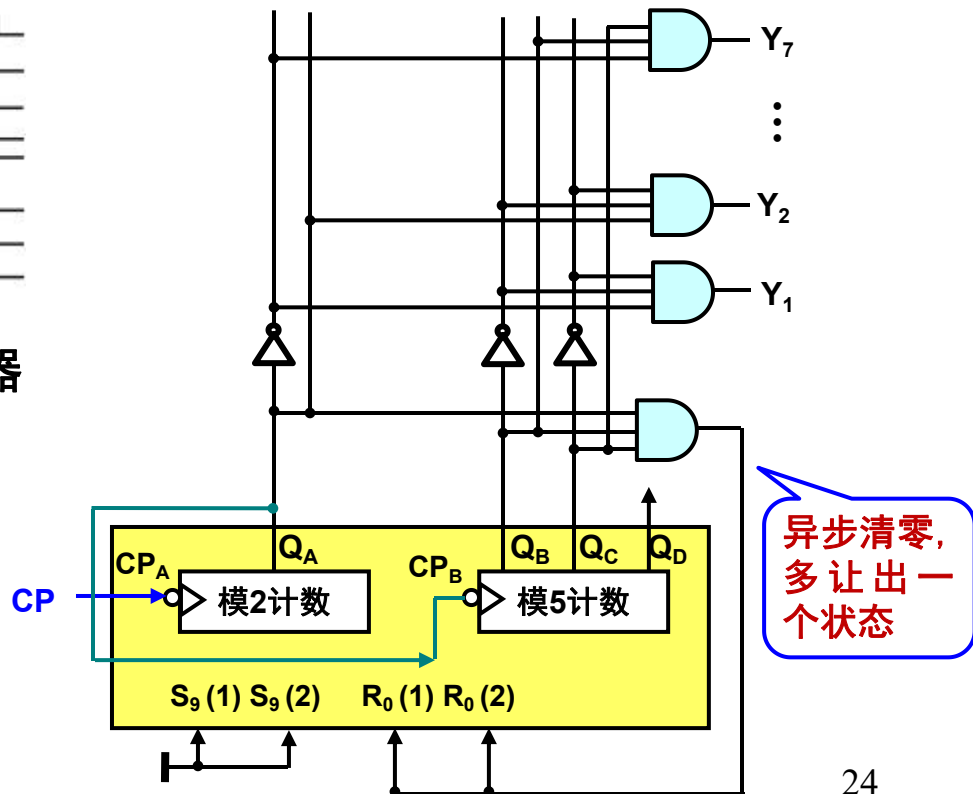
计数器芯片的应用——节拍发生器

1) 设计模7计数器



2) 以模7计数器为输入，设计译码器

输入			译码输出						
Q _C	Q _B	Q _A	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1



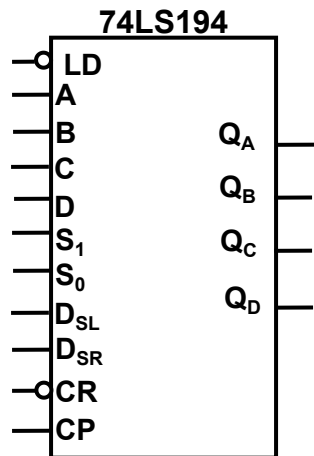
利用中规模芯片设计时序逻辑电路

- 计数器芯片
 - 计数器芯片的级联
 - 计数器芯片的应用
- 寄存器芯片
- 综合应用——序列信号发生器的设计

4-bit 双向移位寄存器芯片74194

74194 (Serial /Parallel input, Parallel out)

74LS194功能表

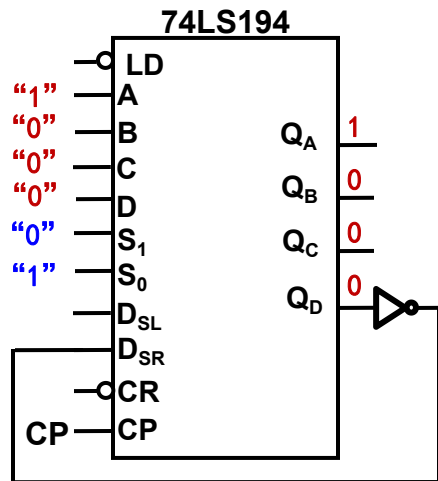
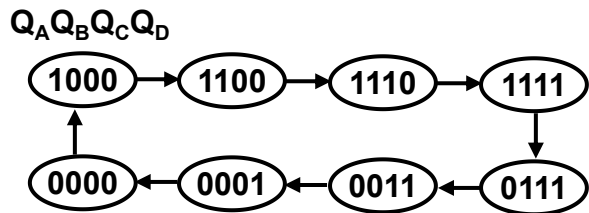


输入				输出			
CP	CR	S ₁	S ₀	Q _A	Q _B	Q _C	Q _D
X	0	X	X	0	0	0	0
0	1	X	X	保持			
X	1	0	0	保持			
↑	1	0	1	D _{SR}	Q _A	Q _B	Q _C
↑	1	1	0	Q _B	Q _C	Q _D	D _{SL}
↑	1	1	1	A	B	C	D

S ₁	S ₀	工作方式
0	0	保持
0	1	右移
1	0	左移
1	1	并入

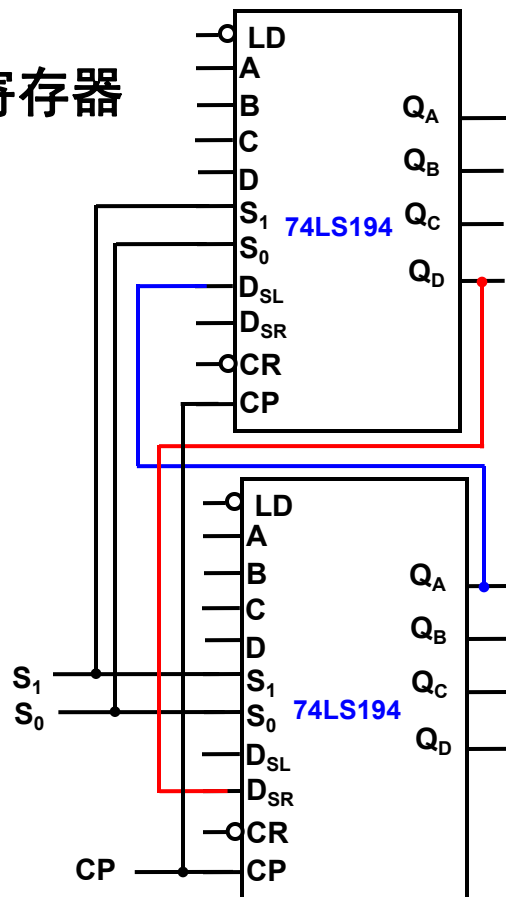
双向移位寄存器芯片74194的应用

① 4位扭环形计数器



② 寄存器级联 构造8位双向移位寄存器

S_1	S_0	工作方式
0	0	保持
0	1	右移
1	0	左移
1	1	并入



寄存器芯片的应用-3

③ 7-bit 串/并行转换器

工作分析

1. $CR=0$, 寄存器清零, $F_7F_6F_5F_4F_3F_2F_1F_0 = 00000000$

2. $\because F_7=0$, $\therefore S_1S_0=11$, 是并行输入方式

反相后, $S_0=0$

3. $CP \uparrow$, 并行输入, 即 $F_7F_6F_5F_4F_3F_2F_1F_0 = 1111110D_6$

$\because S_1S_0=10$, 是左移工作方式

$CP \uparrow$, 左移, 即 $F_7F_6F_5F_4F_3F_2F_1F_0 = 111110D_6D_5$

$CP \uparrow$, 左移, 即 $F_7F_6F_5F_4F_3F_2F_1F_0 = 111110D_6D_5D_4$

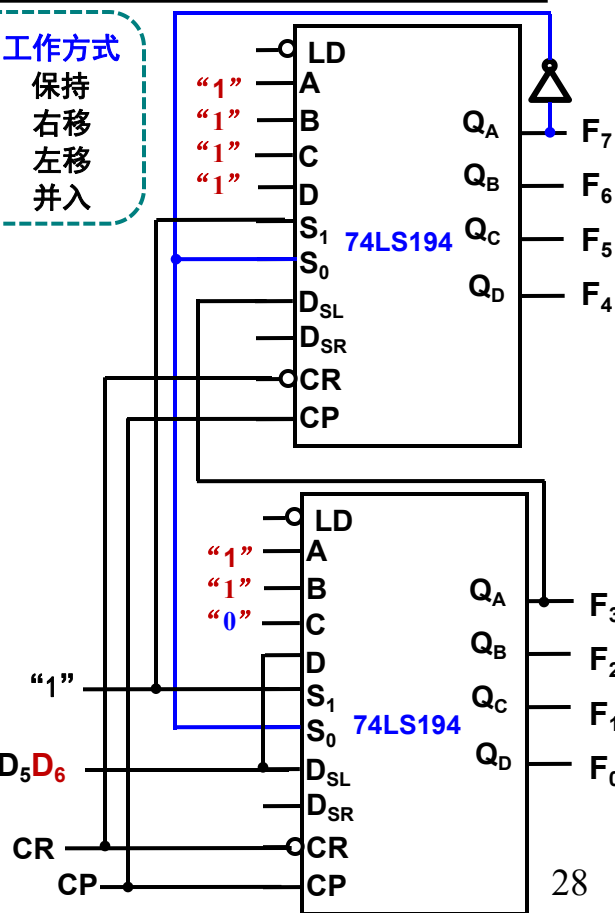
.....

$CP \uparrow$, 左移, 即 $F_7F_6F_5F_4F_3F_2F_1F_0 = 0D_6D_5D_4D_3D_2D_1D_0$

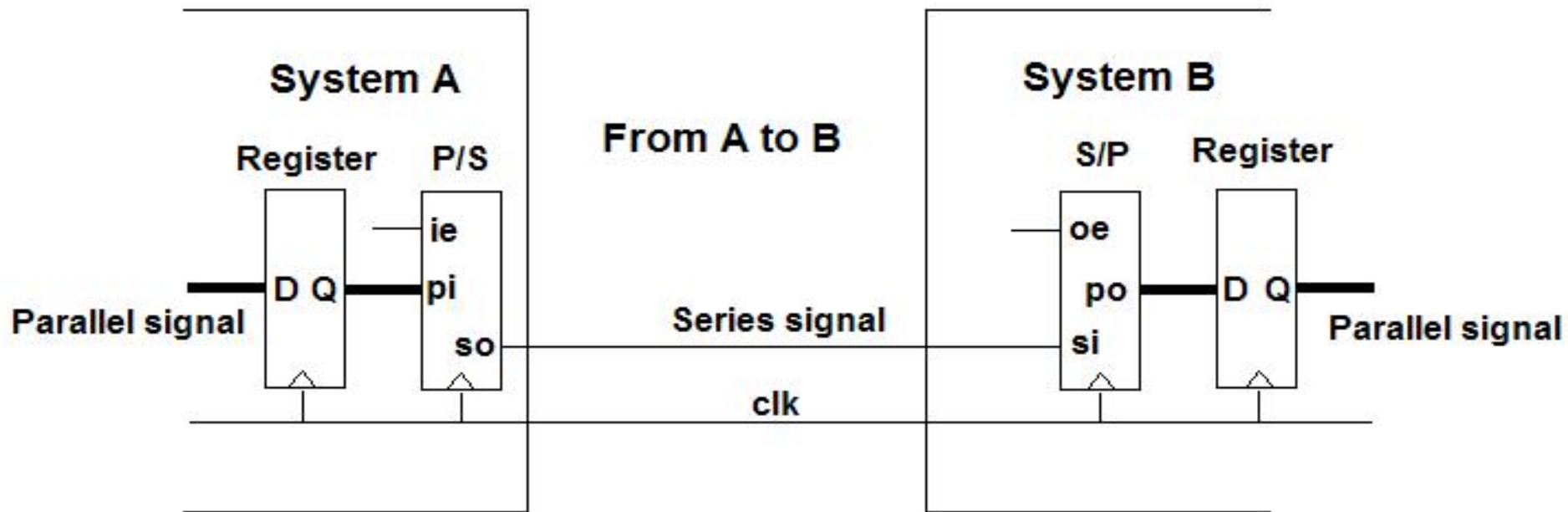
反相后, $S_0=1, S_1S_0=11$, 下一刻并入

4. 返回步骤2

$S_1 S_0$	工作方式
0 0	保持
0 1	右移
1 0	左移
1 1	并入



寄存器芯片的应用——串/并行转换器



利用中规模芯片设计时序逻辑电路

- 计数器芯片
 - 计数器芯片的级联
 - 计数器芯片的应用
- 寄存器芯片
- 综合应用——序列信号发生器的设计

序列信号发生器的设计

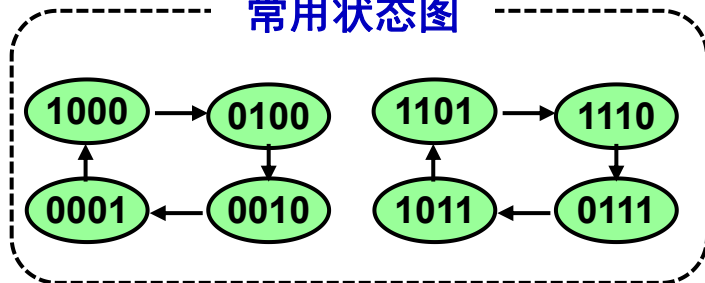
- ⑩ **序列信号发生器**：能循环产生一组特定的串行数字序列信号的电路。
- ⑩ **序列的长度**：序列信号的位数。如：序列为00011，则序列长度为5。

序列状态之间很有规律

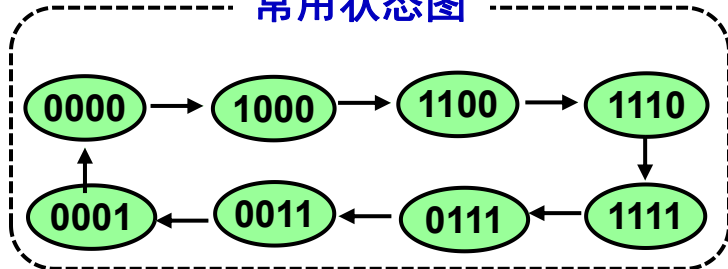
特殊类型

- ❑ 使用环形计数器设计
- ❑ 使用扭环计数器设计

常用状态图



常用状态图



任意序列信号发生器的设计

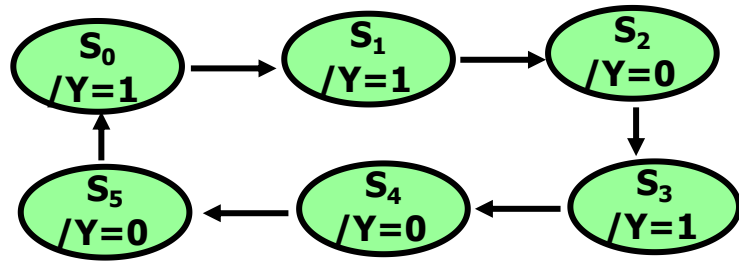
- 大体思路：实现序列信号一个周期的波形，将此波形循环再现
- 使用**D触发器**设计
- 使用**计数器+数据选择器**设计
- 用**移位寄存器+反馈电路**设计（逻辑门/译码器/数据选择器）
- 用计数器 + PROM设计

例：用D触发器设计一个 **110100** 序列信号发生器

方法1：利用D触发器

- 序列信号长度为 L ，则取 L 个不同的状态
- 每个状态下时序电路的输出就是序列信号中的一位。

1. 画状态转换图



时序电路的不同状态对应输出序列中的各位。

任意序列信号发生器的设计-状态编码和化简

2. 状态编码

S_0 — 000, S_3 — 011

S_1 — 001, S_4 — 100

S_2 — 010, S_5 — 101

3. 状态转换真值表

$Q_2Q_1Q_0$	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Q_0^{n+1}	Y
0 0 0	0	0	1	1
0 0 1	0	1	0	1
0 1 0	0	1	1	0
0 1 1	1	0	0	1
1 0 0	1	0	1	0
1 0 1	0	0	0	0

4. 卡诺图化简

Q_1Q_0		00	01	11	10
Q_2	0	1	0	0	1
1	1	1	0	X	X

$$D_0 = Q_0'$$

Q_1Q_0		00	01	11	10
Q_2	0	0	0	1	0
1	1	1	0	X	X

$$D_2 = Q_2Q_0' + Q_1Q_0$$

Q_1Q_0		00	01	11	10
Q_2	0	0	1	0	1
1	0	0	0	0	X

$$D_1 = Q_2'Q_1'Q_0 + Q_1Q_0'$$

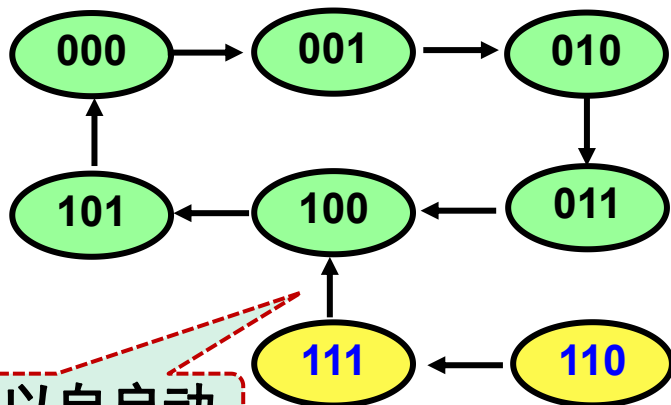
Q_1Q_0		00	01	11	10
Q_2	0	1	1	1	0
1	0	0	0	X	X

$$Y = Q_2'Q_1' + Q_1Q_0$$

序列信号发生器的设计-1

5. 电路实现(略)

6. 检查无关项



电路可以自启动

方法1：利用D触发器

- 序列信号长度为 L ，则取 L 个不同的状态
- 每个状态下时序电路的输出就是序列信号中的一位。

$$Q_2^{n+1} = D_2 = Q_2 Q_0' + Q_1 Q_0$$

$$Q_1^{n+1} = D_1 = Q_2' Q_1' Q_0 + Q_1 Q_0'$$

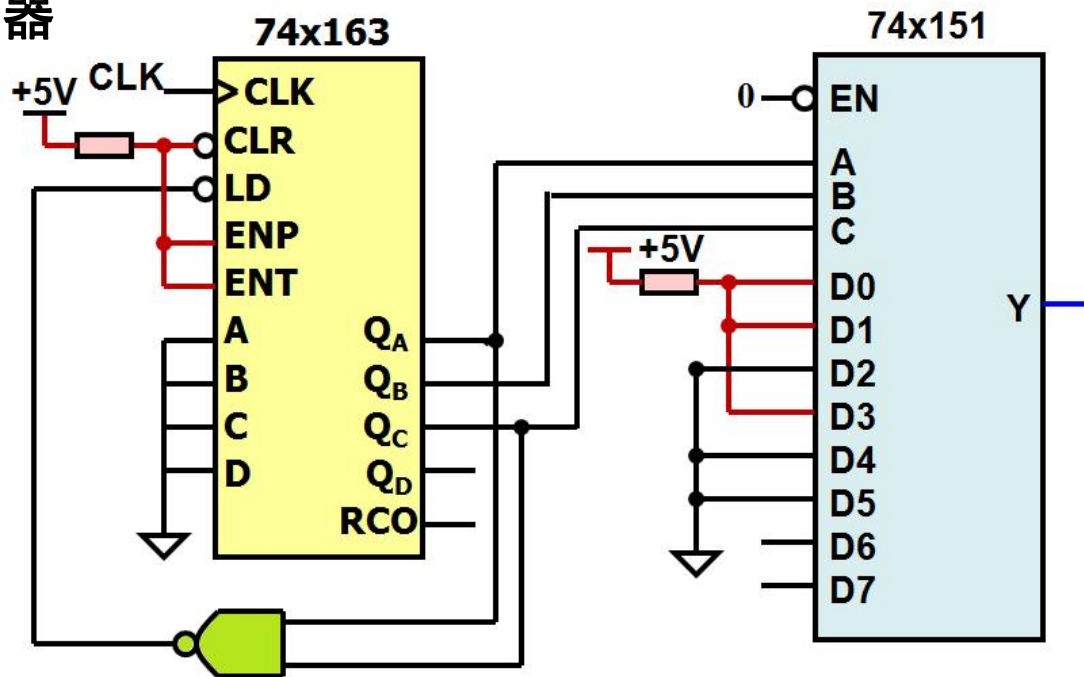
$$Q_0^{n+1} = D_0 = Q_0'$$

任意序列信号发生器的设计-2

例：设计一个 **110100** 序列信号发生器

方法2： 利用计数器+数据选择器

- ❑ 数据选择器74151的输入 D_0 - D_5 接成110100。
- ❑ 74163接成模6加法计数器
- ❑ 计数器输出连到数据选择器的选择控制端CBA，经过循环选择产生所需序列。



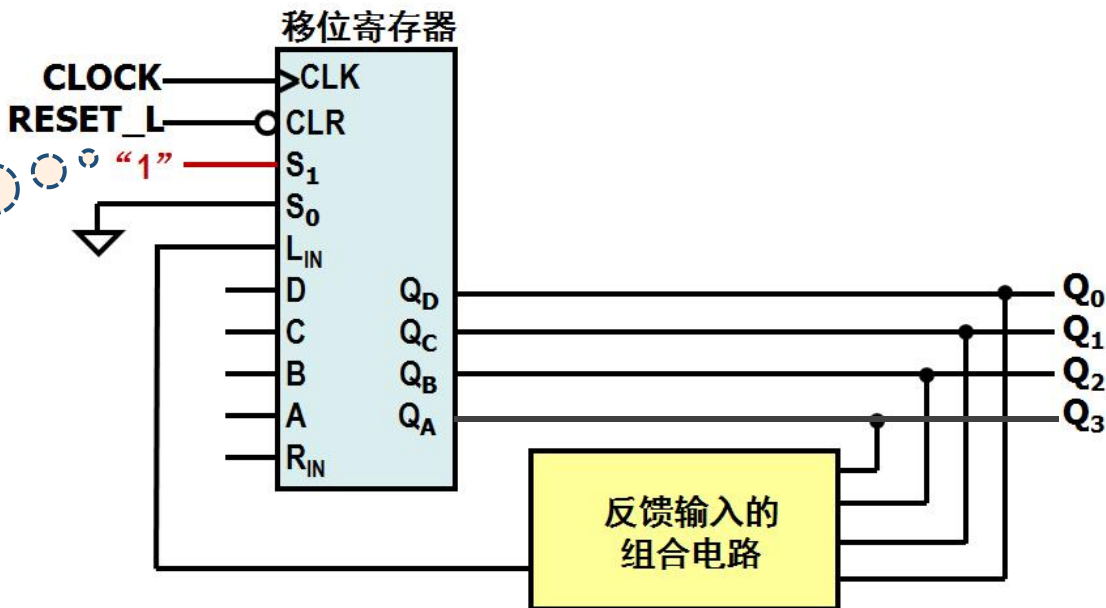
(置数归零法)

序列信号发生器的设计-3

例：设计一个 **00010111** 序列信号发生器

方法3： 移位寄存器+反馈电路设计 (逻辑门/译码器/数据选择器)

原理： 寄存器设置为左移模式，利用反馈电路为左移串行输入端提供输入



序列信号发生器的设计-3

例：设计一个 **00010111** 序列信号发生器

方法3： 移位寄存器+反馈电路设计（逻辑门/译码器/数据选择器）

具体方法

□ 确定移位寄存器的位数。

序列信号长度为 L ，则移位寄存器的位数 n 应满足：

$$2^n \geq L$$

试探法： n 为满足条件的最小值，将序列数据循环左移，画状态图。检查状态图中所有 L 个状态是否两两不同，是，则 n 值可用；否则取 $n+1$ ，重复上述操作。

□ 画状态转换表，确定左移时最低位输入的卡诺图，求出表达式。如果有无关项，检查电路的自启动能力

□ 实现最低位反馈输入（逻辑门 or 译码器 or 数据选择器）

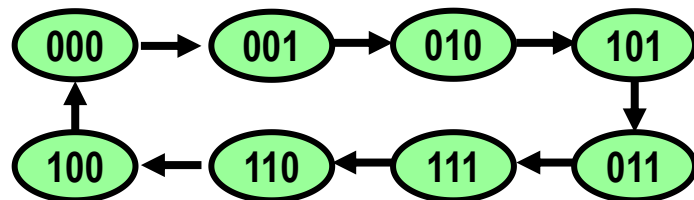
□ 取移位寄存器的某位输出即为所要求的序列信号。

1. 确定移位寄存器位数

序列长度 $L=8$ ，则 $n=3$

2. 状态转换图

00010111 11000



用**74194**的低3位 $Q_B Q_C Q_D$ 输出

序列信号发生器的设计-3

方法3.1：移位寄存器+逻辑门电路

3. 状态转换真值表

Q_B	Q_C	Q_D	L_{IN}
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	0
1	1	0	0
1	0	0	0

**Q_B输出即为
序列信号**

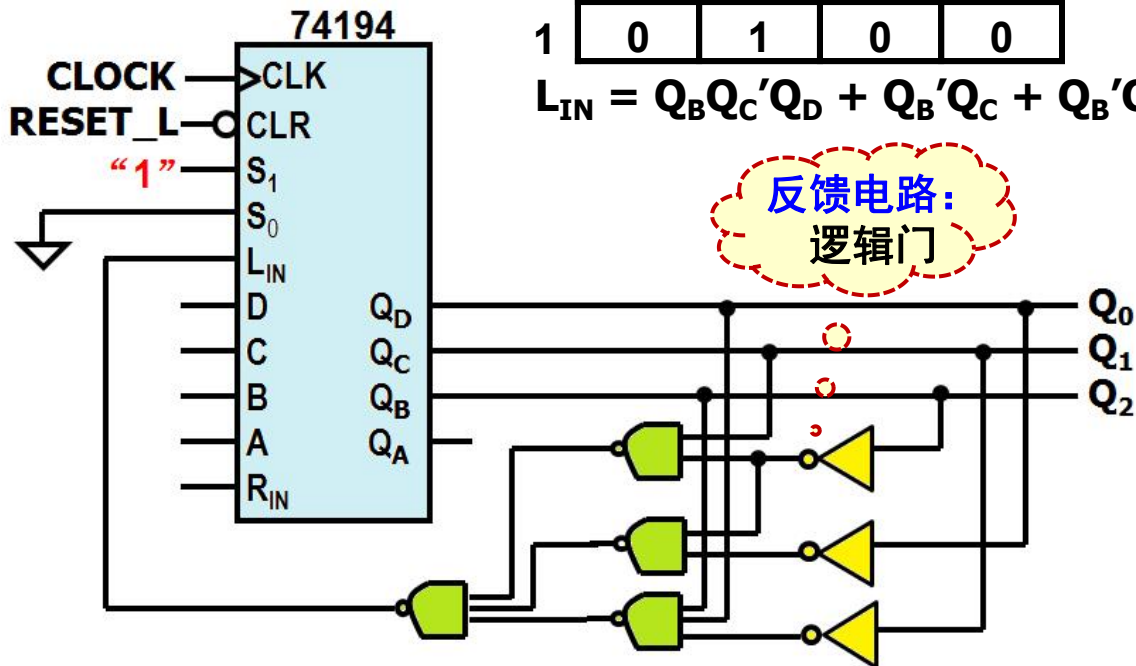
4.卡诺图化简

4.卡诺图化简

$Q_2 \backslash Q_1 Q_0$	00	01	11	10
0	1	0	1	1
1	0	1	0	0

$$\mathbf{L}_{IN} = \mathbf{Q}_B \mathbf{Q}_C' \mathbf{Q}_D + \mathbf{Q}_B' \mathbf{Q}_C + \mathbf{Q}_B' \mathbf{Q}_D'$$

反馈电路： 逻辑门



序列信号发生器的设计-3

例2：设计一个 00010111序列信号发生器

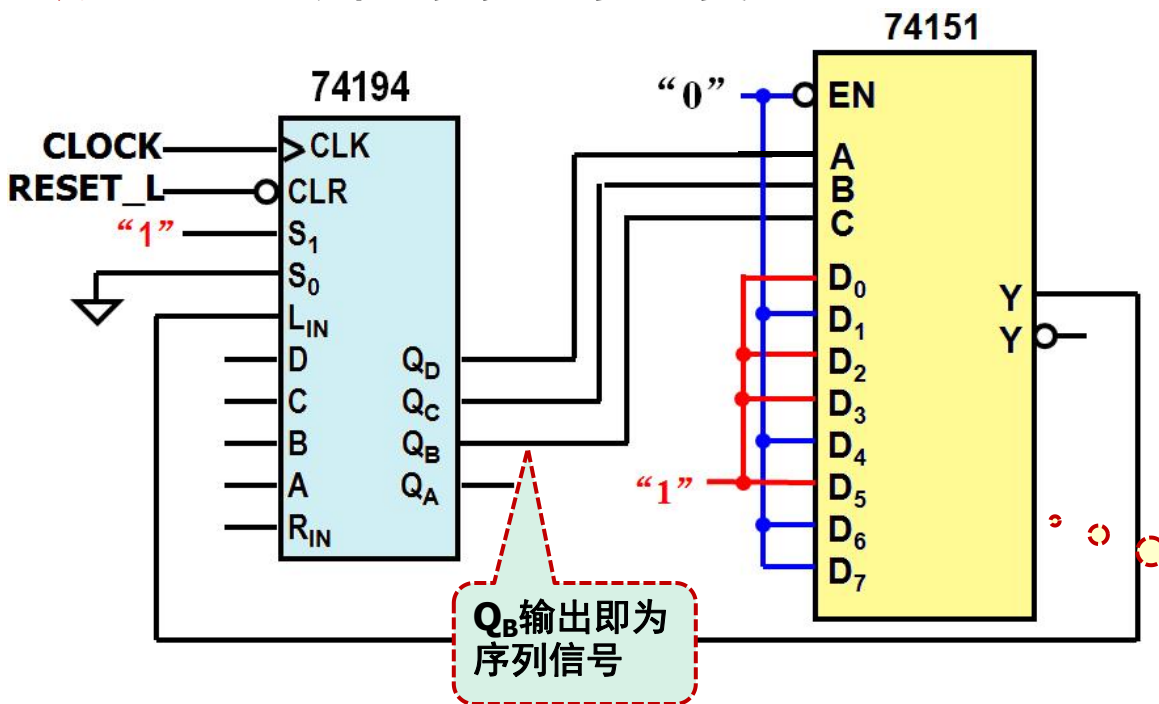
1~4. 同上

方法3. 2：移位寄存器+多路复用器

$$L_{IN} = Q_B Q_C' Q_D + Q_B' Q_C + Q_B' Q_D'$$

$$= \sum m(0, 2, 3, 5)$$

转换为最小项表达式



$Q_B Q_C Q_D$ 分别接74151的选择控制端CBA, 则:

$$D_0 = D_2 = D_3 = D_5 = 1,$$

$$D_1 = D_4 = D_6 = D_7 = 0$$

序列信号发生器的设计-3

例2：设计一个 **00010111**序列信号发生器 **1~4. 同上**

方法3.3：移位寄存器+译码器

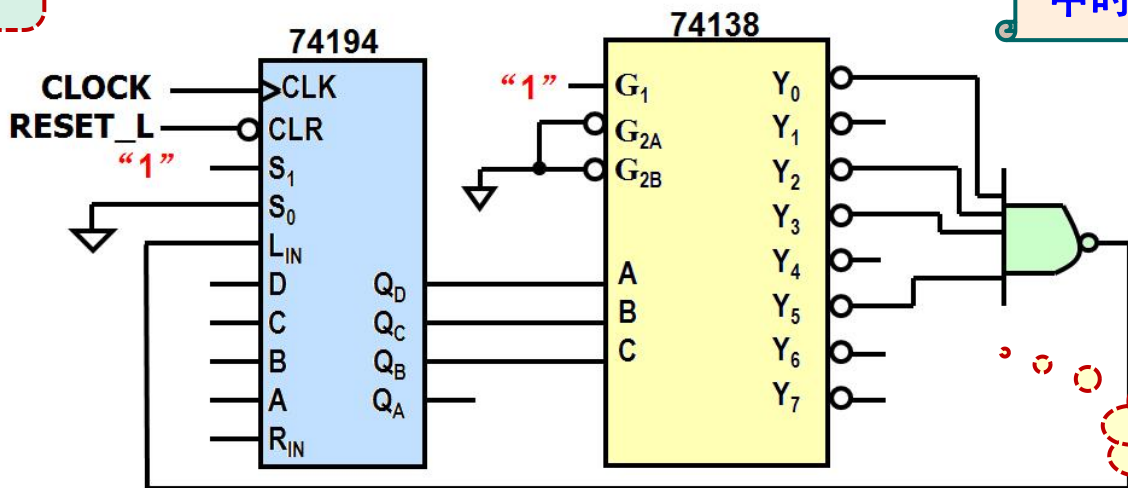
$$L_{IN} = Q_B Q_C' Q_D + Q_B' Q_C + Q_B' Q_D'$$

$$= \sum m(0, 2, 3, 5)$$

转换为**最小项**表达式

$Q_B Q_C Q_D$ 分别接74138的地址输入端CBA，则：

Y_0, Y_2, Y_3, Y_5 分别被译中时，反馈回1，否则反馈回0



Q_B 输出即为序列信号

反馈电路：
译码器

序列信号发生器设计方法总结

特殊类型

- 使用环形计数器设计
- 使用扭环计数器设计

任意类型

- 使用D触发器设计
- 使用计数器 + 数据选择器设计；
- 用移位寄存器+反馈电路设计(逻辑门/译码器/数据选择器)
- 用计数器 + PROM设计