

例5. 设计一个自动贩售饮料机的逻辑电路

投币口每次只能投入一枚五角或一元的硬币。投入一元五角钱硬币后，机器会自动给出一杯饮料；投入两元（两个一元）硬币后，在给出饮料的同时找回一枚五角硬币

解：

输入： $\left\{ \begin{array}{l} \text{投入 } ¥ 1.0, A=1 \\ \text{投入 } ¥ 0.5, B=1 \end{array} \right.$ 输出： $\left\{ \begin{array}{l} \text{出饮料, } Y=1 \\ \text{找钱, } Z=1 \end{array} \right.$

状态：

3个
状态

S_0 : 初始 (未投币)

S_1 : 投入 ¥ 0.5

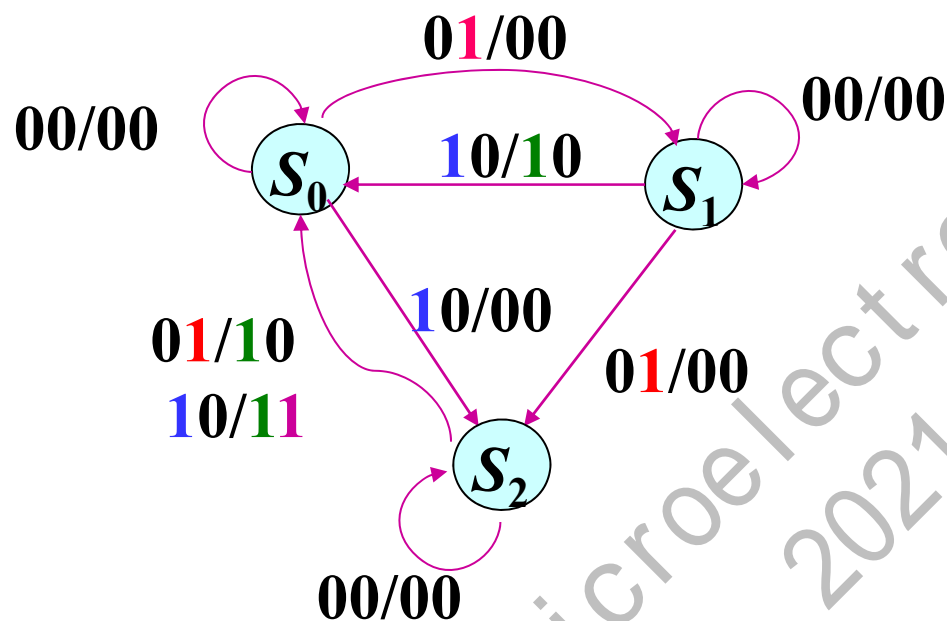
S_2 : 投入 ¥ 1.0 (一个 ¥ 1.0 或两个 ¥ 0.5)

再投入 ¥ 0.5, 返回 S_0 , 输出 $Y=1, Z=0$

再投入 ¥ 1.0, 返回 S_0 , 输出 $Y=1, Z=1$
(找回 ¥ 0.5)

多输入，多输出

AB /YZ



S_0 : 投入 ¥0.5, S_1

S_0 : 投入 ¥1.0, S_2

S_1 : 投入 ¥0.5, S_2

S_1 : 投入 ¥1.0, S_0
饮料

S_2 : 投入 ¥0.5, S_0
饮料

S_2 : 投入 ¥1.0, S_0
饮料 和 找钱

A : ¥ 1.0

B : ¥ 0.5

Y : 饮料

Z : 找钱

S_0 : 初始

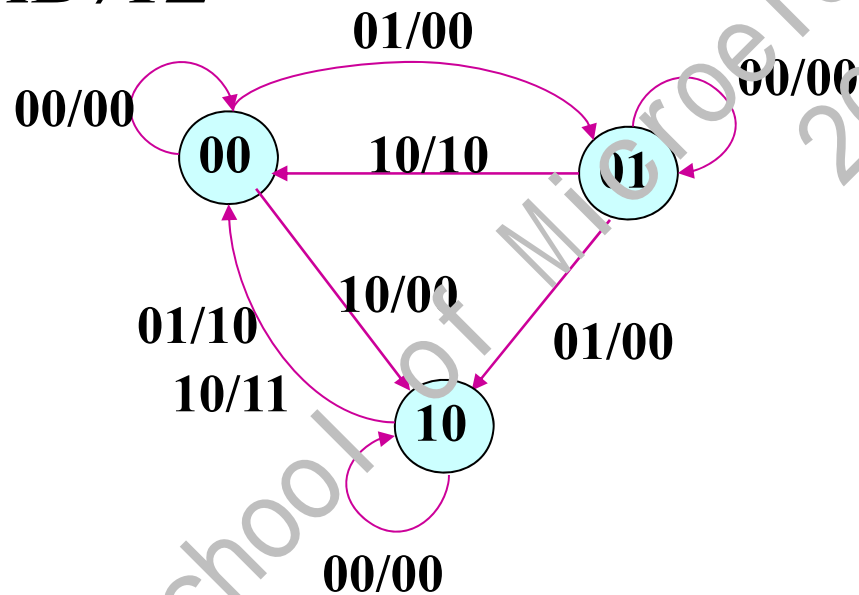
S_1 : ¥ 0.5

S_2 : ¥ 1.0

编码

$S_0 \rightarrow 00$
 $S_1 \rightarrow 01$
 $S_2 \rightarrow 10$

AB / YZ



状态表

A	B	Q_1^n	Q_0^n	Q_1^{n+1}	Q_0^{n+1}	Y	Z
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	1	1	Φ	Φ	Φ	Φ
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0
0	1	1	1	Φ	Φ	Φ	Φ
1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0	1	0
1	0	1	0	0	0	1	1
1	0	1	1	Φ	Φ	Φ	Φ
1	1	0	0	Φ	Φ	Φ	Φ
1	1	0	1	Φ	Φ	Φ	Φ
1	1	1	0	Φ	Φ	Φ	Φ
1	1	1	1	Φ	Φ	Φ	Φ

$$Q_1^{n+1}$$

$Q_1^n Q_0^n \backslash AB$	00	01	11	10
00	0	0	Φ	1
01	0	1	Φ	0
11	Φ	Φ	Φ	Φ
10	1	0	Φ	0

$$Q_0^{n+1}$$

$Q_1^n Q_0^n \backslash AB$	00	01	11	10
00	0	1	Φ	0
01	1	0	Φ	0
11	Φ	Φ	Φ	Φ
10	0	0	Φ	0

$$Q_1^{n+1} = BQ_0 + A\bar{Q}_1\bar{Q}_0 + \bar{A}\bar{B}Q_1$$

$$Q_0^{n+1} = B\bar{Q}_1\bar{Q}_0 + \bar{A}\bar{B}Q_0$$

$$Y$$

$Q_1^n Q_0^n \backslash AB$	00	01	11	10
00	0	0	Φ	0
01	0	0	Φ	1
11	Φ	Φ	Φ	Φ
10	0	1	Φ	1

$$Z$$

$Q_1^n Q_0^n \backslash AB$	00	01	11	10
00	0	0	Φ	0
01	0	0	Φ	0
11	Φ	Φ	Φ	Φ
10	0	0	Φ	1

$$Y = AQ_0 + AQ_1 + BQ_1$$

$$Z = AQ_1$$

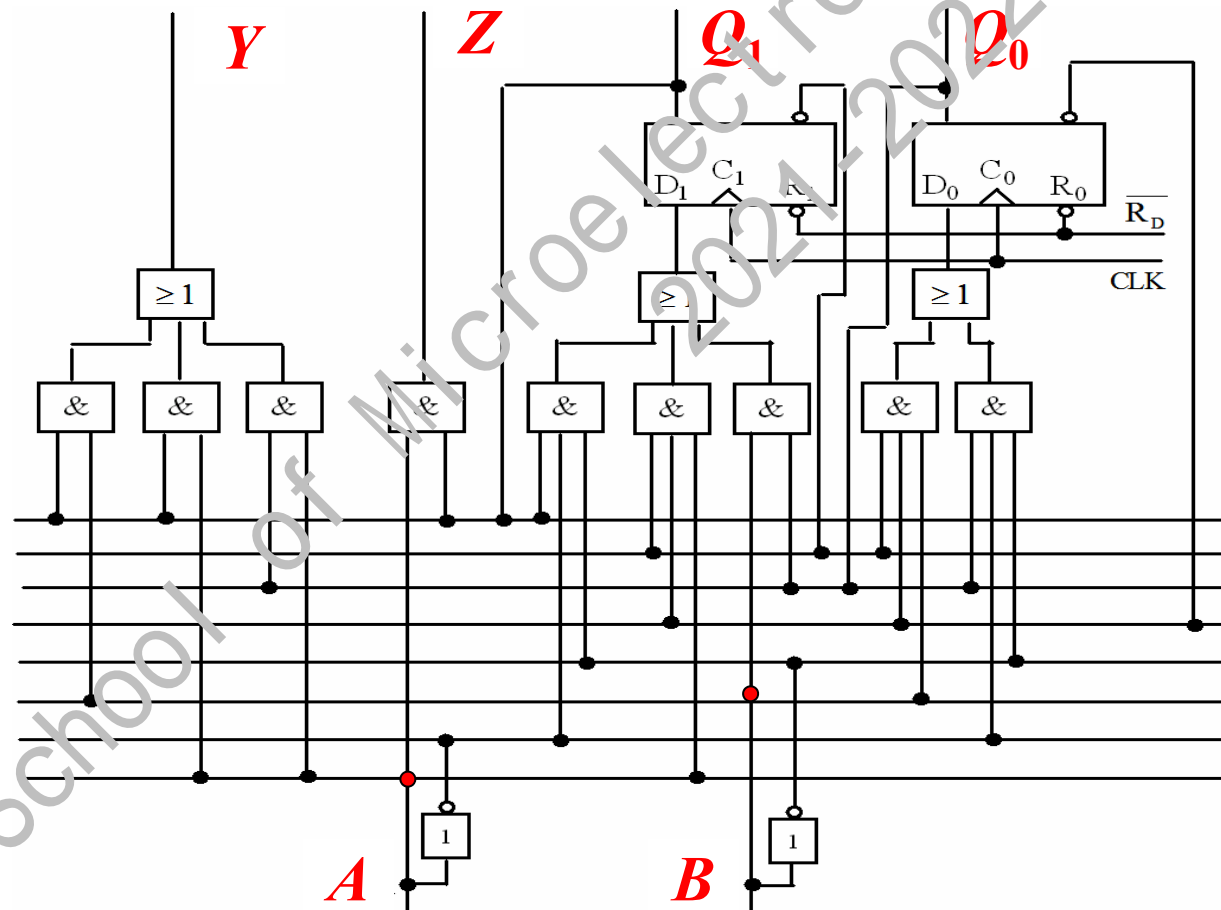
用 D-FF

$$D_1 = BQ_0 + A\bar{Q}_1\bar{Q}_0 + \bar{A} \cdot \bar{B}Q_1$$

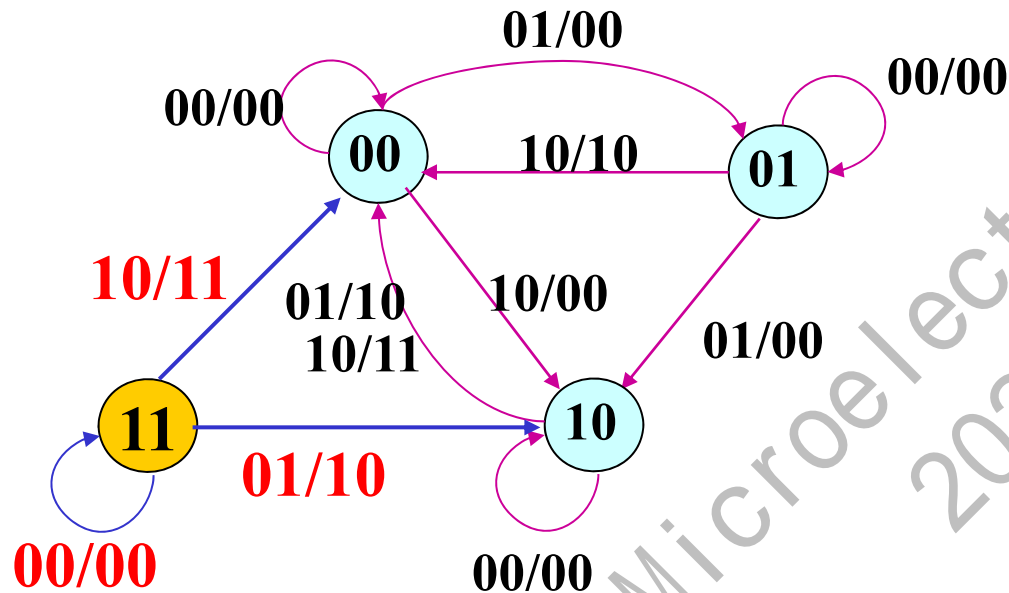
$$Y = AQ_0 + AQ_1 + BQ_1$$

$$D_0 = B\bar{Q}_1 \cdot \bar{Q}_0 + \bar{A} \cdot \bar{B}Q_0$$

$$Z = AQ_1$$



讨论：“11” 状态



A : ¥ 1.0

B : ¥ 0.5

Y : 饮料

Z : 找钱

$$D_1 = BQ_0 + A\overline{Q_1}\overline{Q_0} + \overline{A} \cdot \overline{B}Q_1$$

$$D_0 = B\overline{Q_1} \cdot \overline{Q_0} + \overline{A} \cdot \overline{B}Q_0$$

$$Y = A\overline{Q_0} + A\overline{Q_1} + BQ_1$$

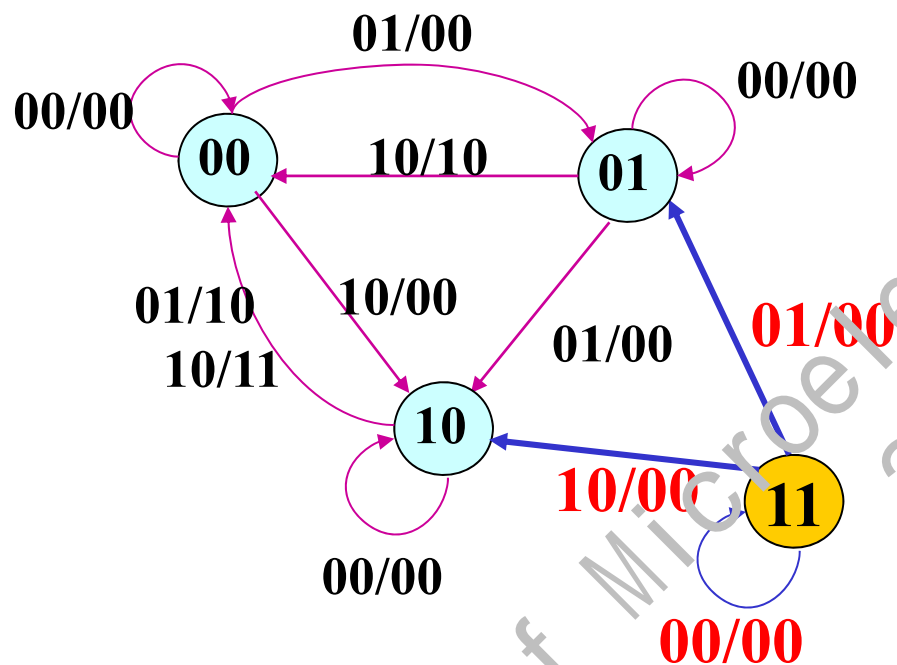
$$Z = A\overline{Q_1}$$

若 $AB = 00$ (无输入),
 $Q_1Q_0 = 11$, 电路不能自启动

若 $AB = 01$ 或 10 , 电路可以自启动, 但找钱系统出错

方案1: 电路初始工作时, 首先将 $\overline{R_D}$ 设置为低电平, 电路状态从 “00” 开始

方案2：修改电路状态图



状态表

A	B	Q_1^n	Q_0^n	Q_1^{n+1}	Q_0^{n+1}	Y	Z
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	1	1	1	1	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0
0	1	1	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0	1	0
1	0	1	0	0	0	1	1
1	0	1	1	1	0	0	0
1	1	0	0	Φ	Φ	Φ	Φ
1	1	0	1	Φ	Φ	Φ	Φ
1	1	1	0	Φ	Φ	Φ	Φ
1	1	1	1	Φ	Φ	Φ	Φ

§6.4 计数器 Counter

- 计数器的功能

记录 CLK 个数的电路，可以用来计数、分频，此外还可以对系统定时、顺序控制

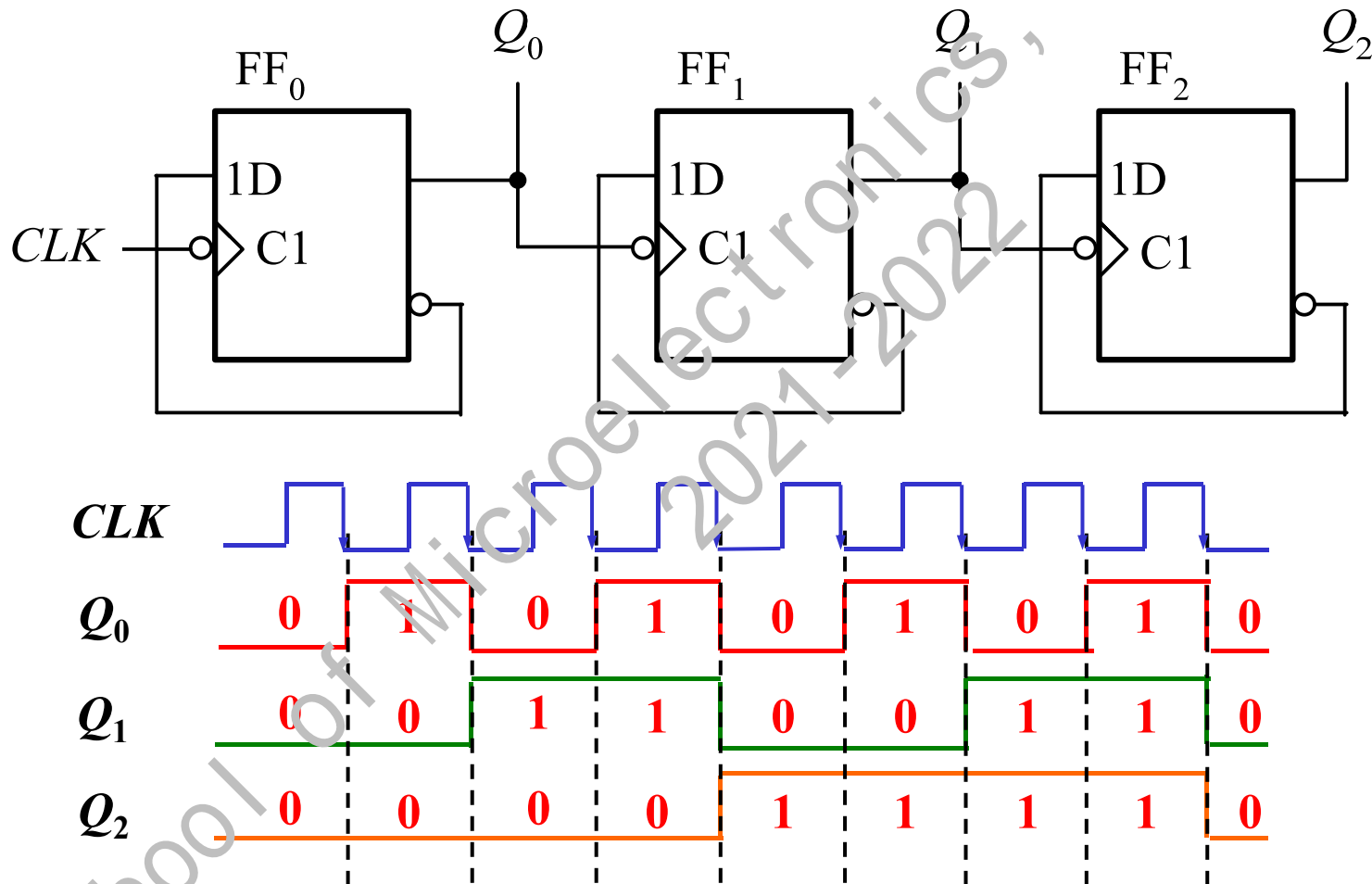
- 计数器的分类

时钟控制：异步，同步

计数功能：加法计数，减法计数，可逆计数

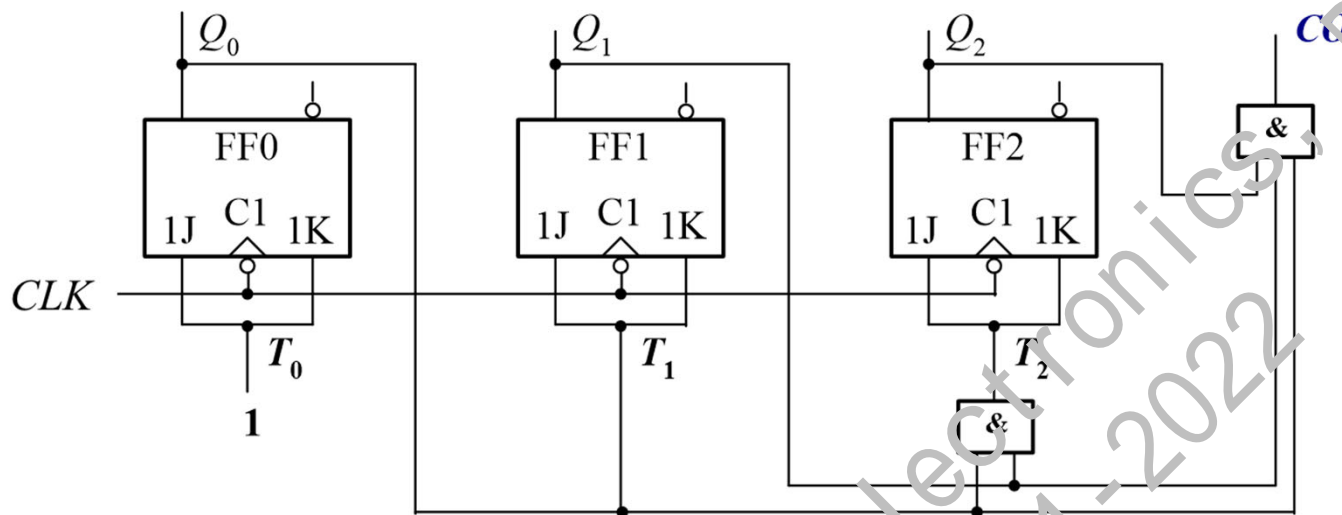
数制：二进制计数器，非二进制计数器（任意进制计数器）

例1. 异步计数器时序电路



基于D-FF的M-8计数器，实现：计数、分频、定时

例2. 同步计数器时序电路



基于T-FF的M-8计数器

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

Q_0 每来一个CLK脉冲翻转一次

Q_1 只有当 Q_0 为1时翻转，其余保持

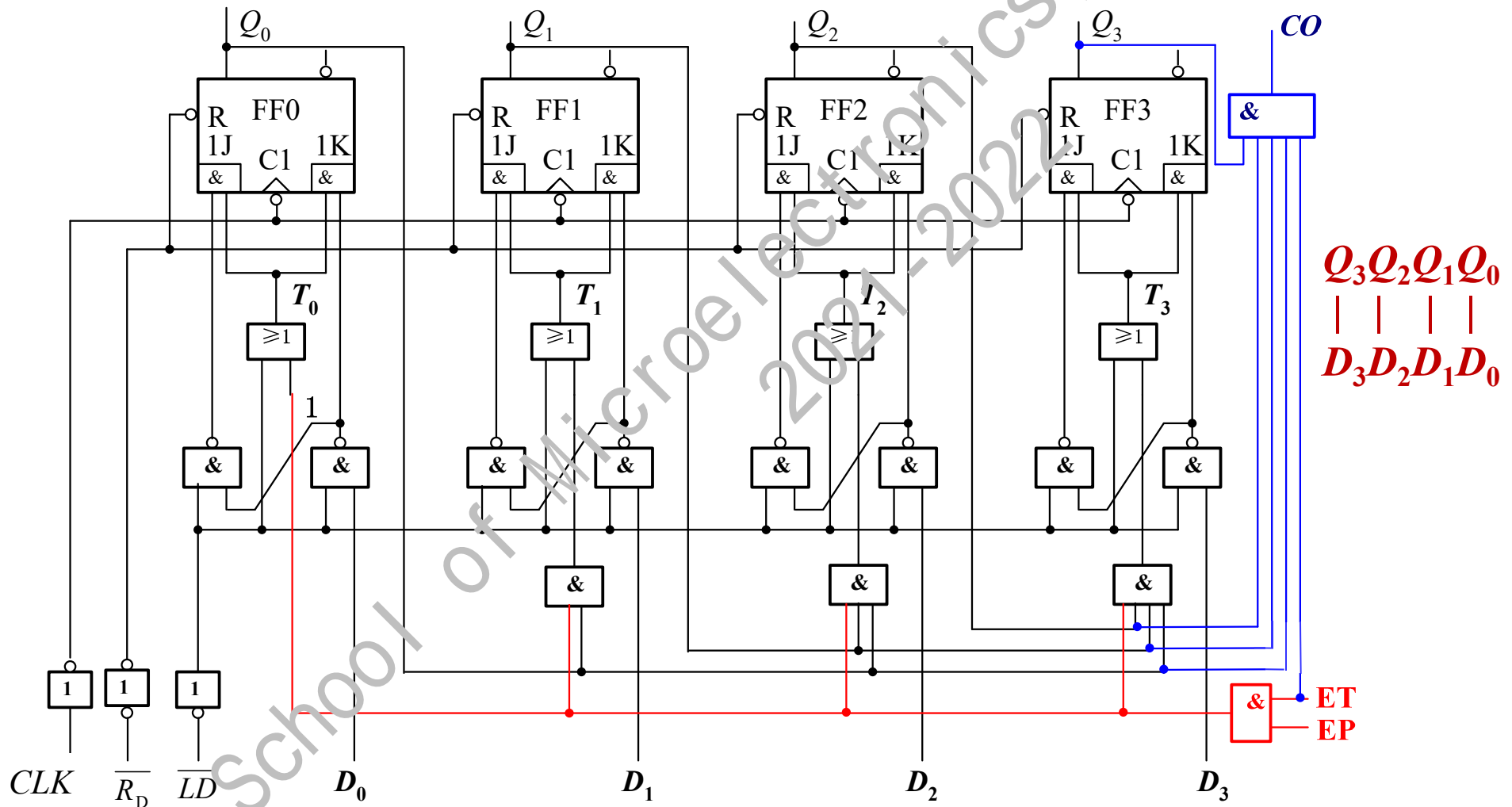
Q_2 只有当 Q_1 、 Q_0 同时为1时**翻转**，其余**保持**

T 触发器的状态方程 $Q^{n+1} = TQ^n + \overline{T}Q^n$

$$\text{当 } T=1 \text{ 时 } Q^{n+1} = \overline{Q^n} \quad \text{当 } T=0 \text{ 时 } Q^{n+1} = Q^n$$

§ 6.4.1 集成计数器 74161

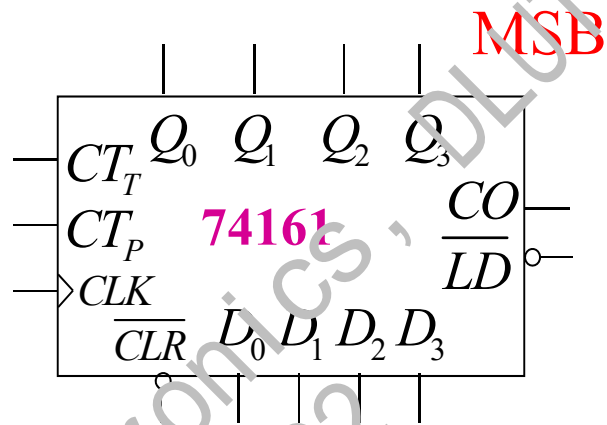
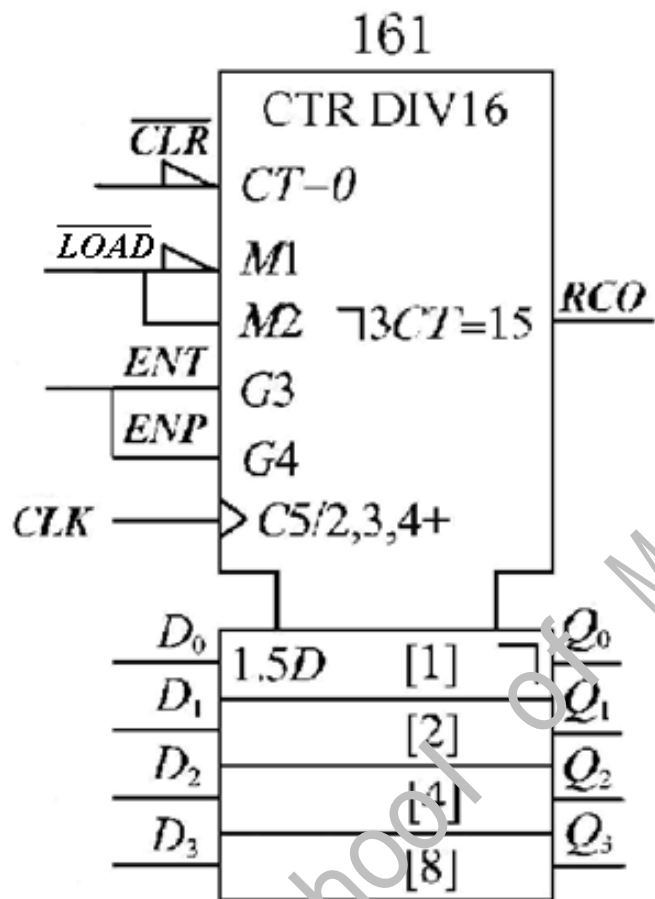
74161: 二进制同步模16加法计数器, 异步清0功能



计数器74161 电路

符号

IEEE



输出 $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$

数据输入 $D_3 D_2 D_1 D_0$

异步清零 \overline{CLR}

控制端 $ENT (ET, CT_T)$
 $ENP (EP, CT_P)$

预置端 $\overline{LOAD} (\overline{LD})$

进位输出 $RCO (CO)$

74161 功能表

\overline{CLR}	\overline{LD}	ENT	ENP	CLK	$D_0 D_1 D_2 D_3$	功能
0	X	X	X	X	X X X X	Direct set 0
1	0	X	X	↑	$D_0 D_1 D_2 D_3$	Load 预置
1	1	0	X	X	X X X X	保持 $RCO=0$
1	1	X	0	X	X X X X	保持
1	1	1	1	↑	X X X X	M-16 计数

$$Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 = 0000$$

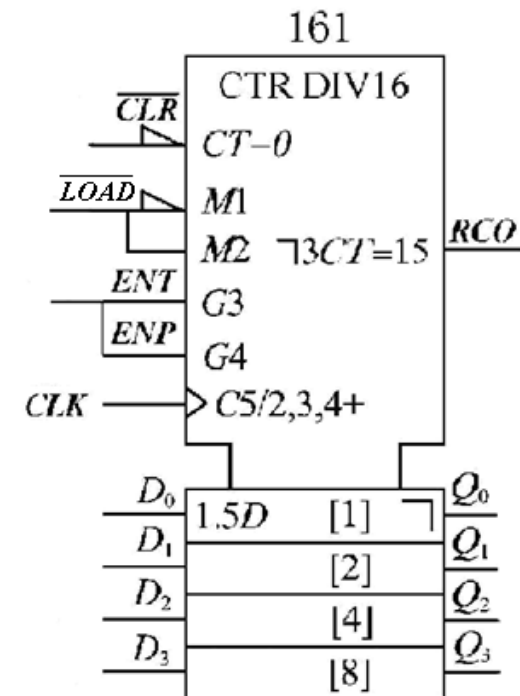
$$Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 = D_3 D_2 D_1 D_0$$

$$RCO = ENT \cdot Q_3 \cdot Q_2 \cdot Q_1 \cdot Q_0$$

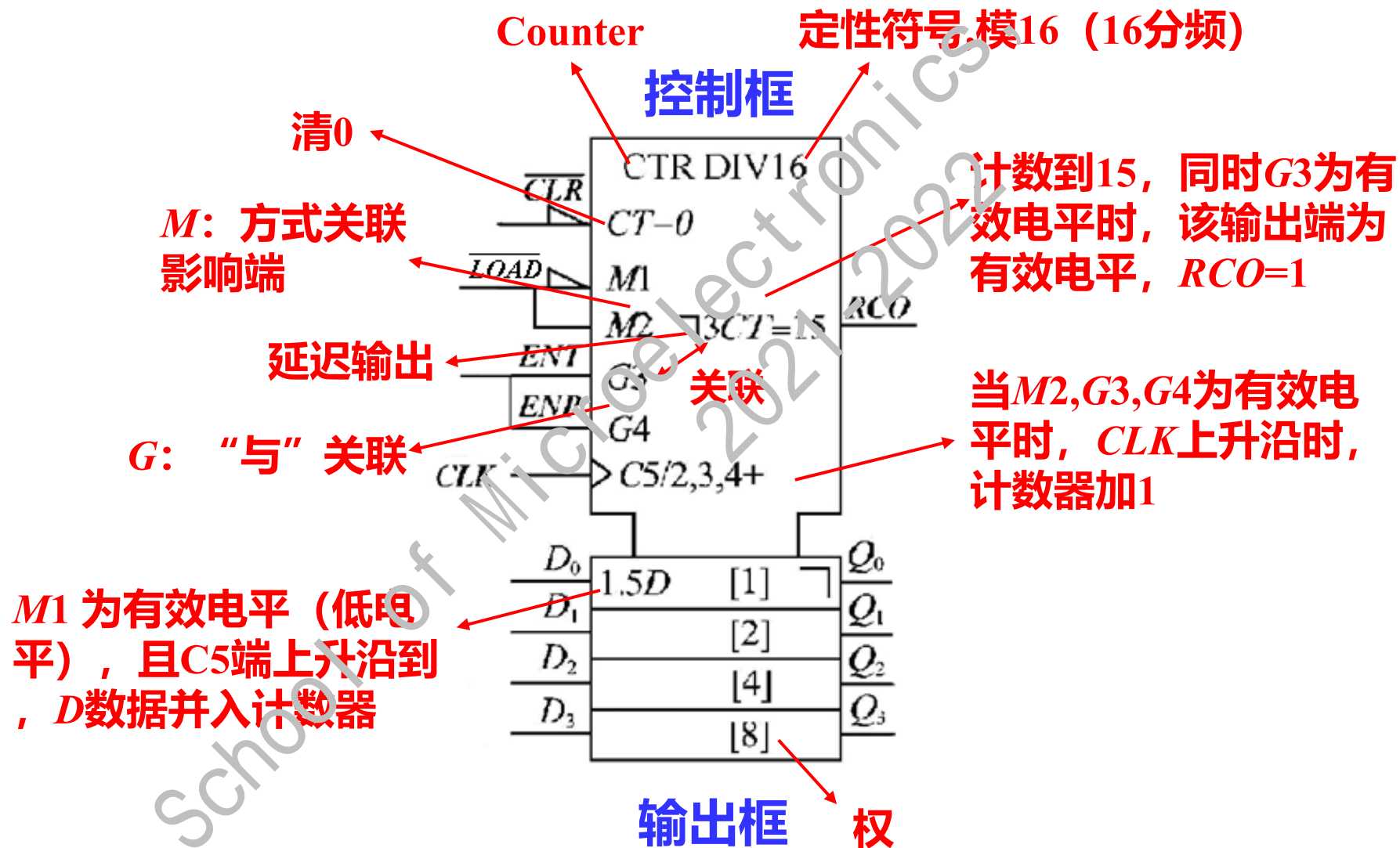
计数时, $ENT = 1$:

当 $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 = 1111$ 时, $RCO = 1$

其他时刻, $RCO = 0$



74161 IEEE 符号



例1. 用 74161 实现模11加法计数器

方法1: 预置归0法 (\overline{LD})

$ENT = ENP = 1$, $\overline{CLR} = 1$, $D_3D_2D_1D_0 = 0000$

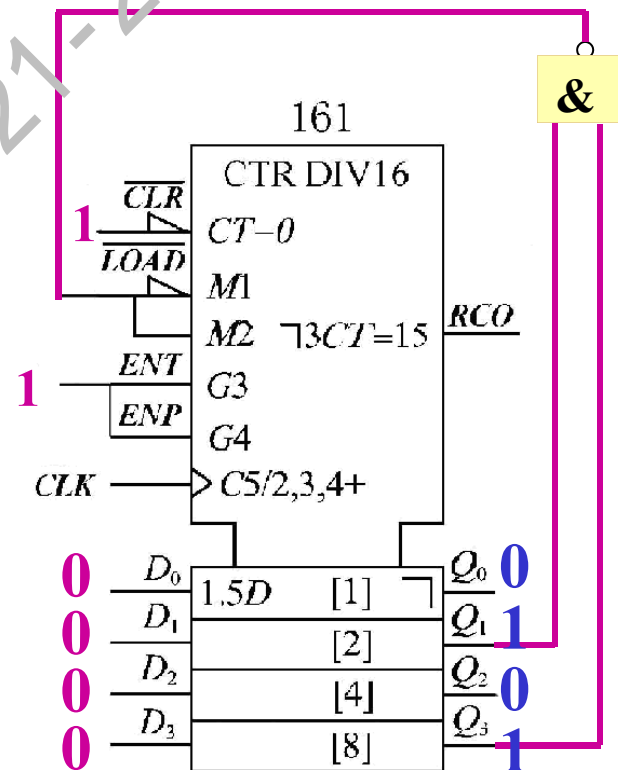
最大状态 1010 最大状态中1端连入一个与非门

输出 $\rightarrow \overline{LD}$

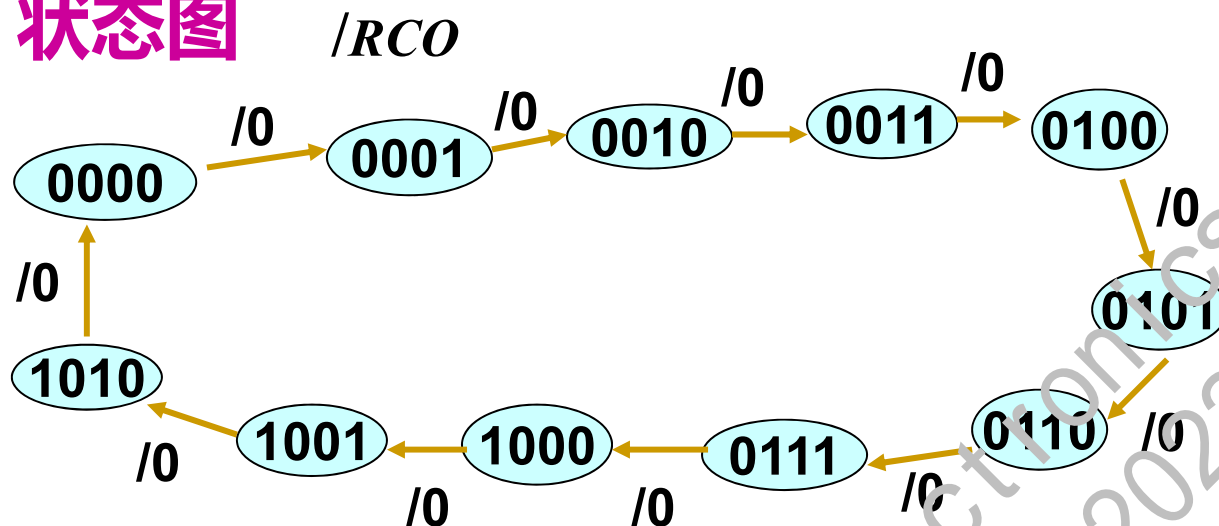
0 \rightarrow 9, 与非门 = 1
($\overline{LD}=1$), 计数

10th CLK 到来,
 $Q_3Q_2Q_1Q_0 = 1010$, $\overline{LD}=0$

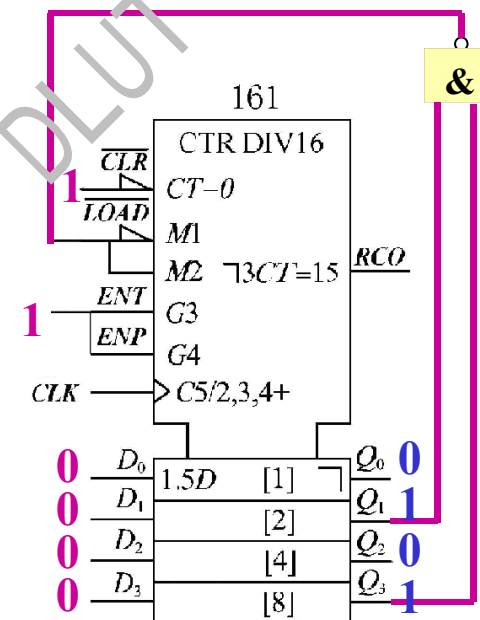
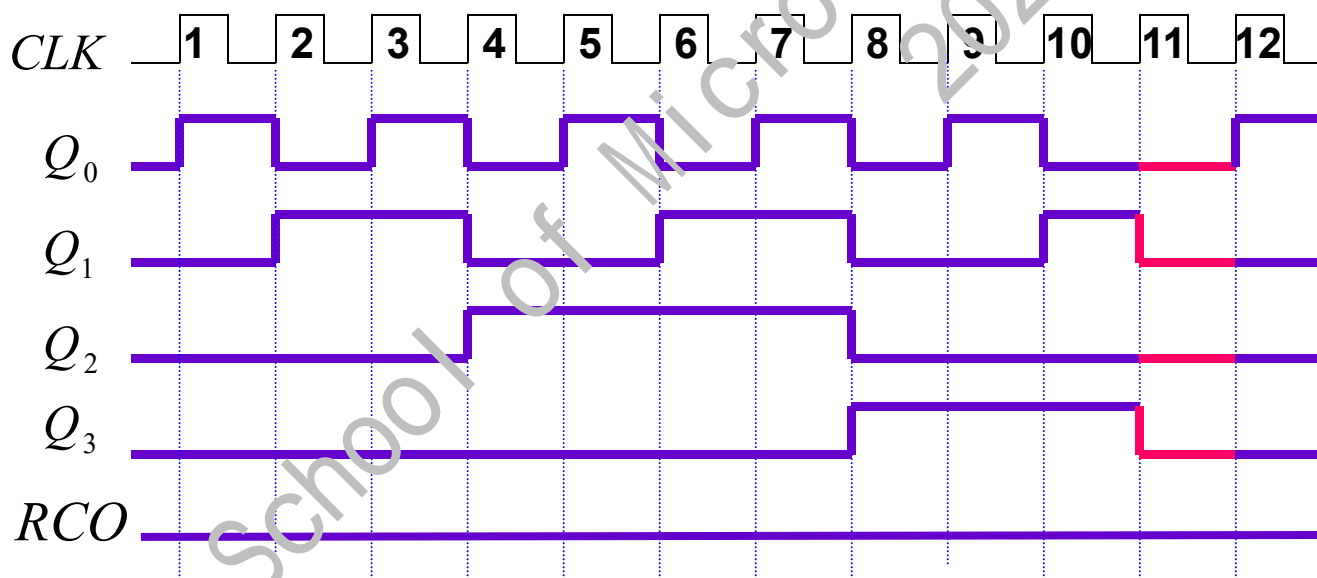
11th CLK 到来,
 $Q_3Q_2Q_1Q_0 = D_3D_2D_1D_0 = 0000$



状态图



波形图



Q_0 二分频电路

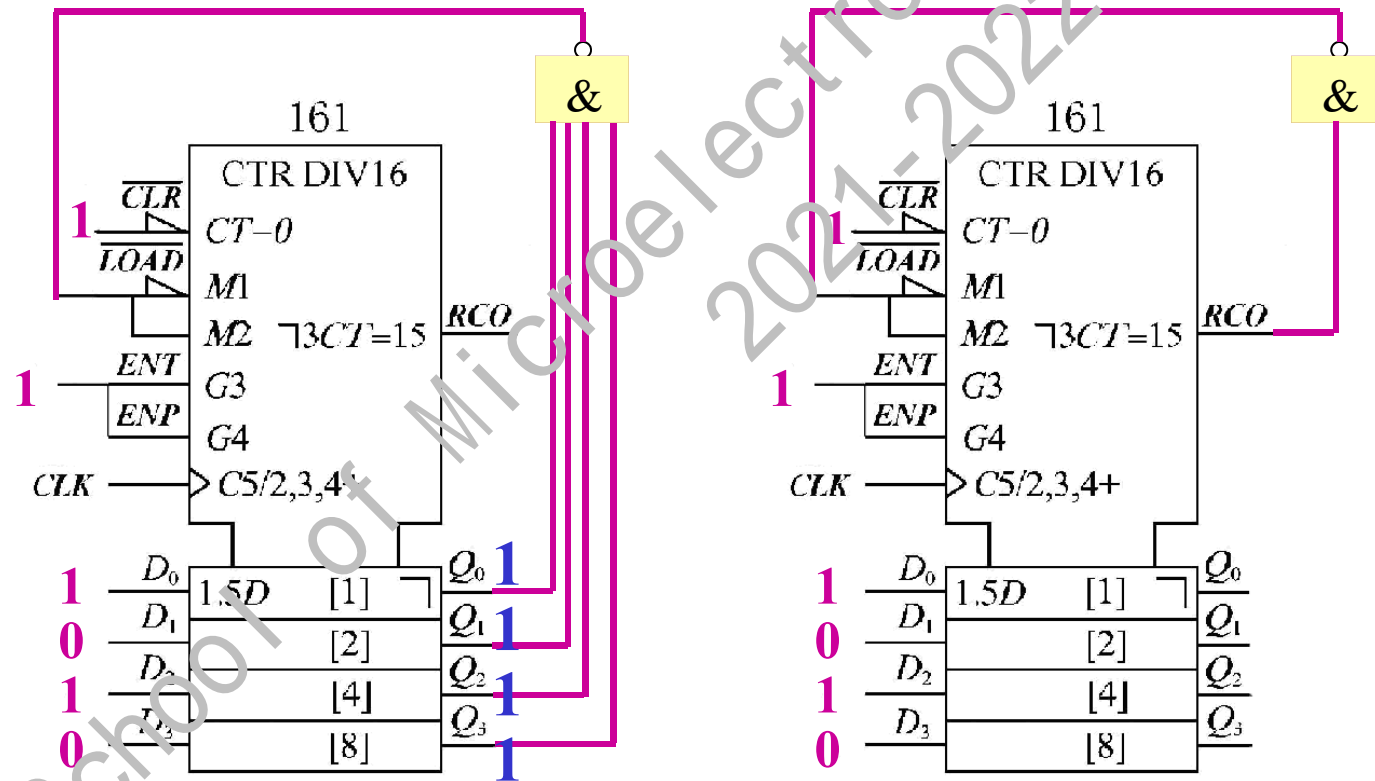
Q_1 四分频电路

方法 2: 预置补数法

0000 ~ 1111
16 个状态

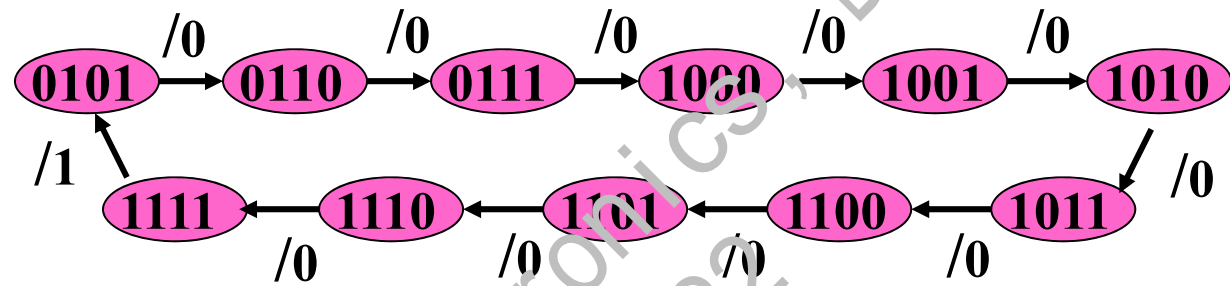
0000 ~ 1010
11 个状态

5 (0101) ~ 15 (1111)
11 个状态



状态图

/RCO



School of Microelectronics, DLUT
2021-2022

方法 3: 反馈归 0 法 (\overline{CLR})

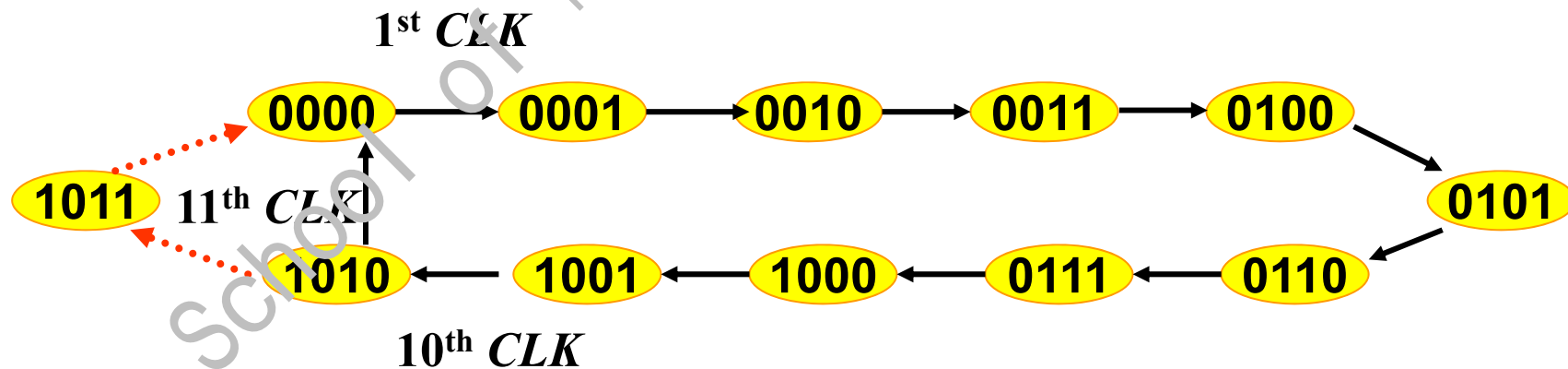
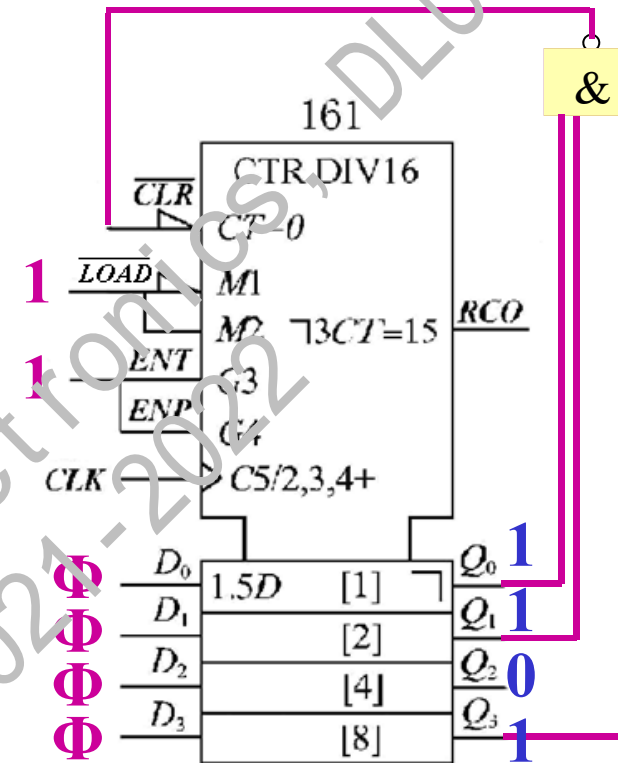
$$ENT = ENP = \overline{LD} = 1$$

$$D_3 D_2 D_1 D_0 = \Phi \Phi \Phi \Phi$$

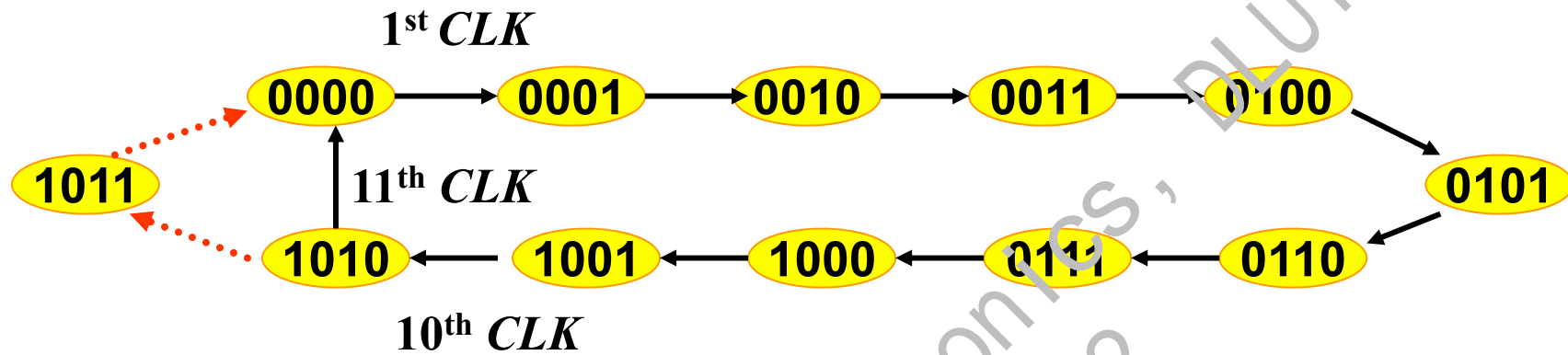
$$Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 = 1011$$

与非门 $\rightarrow \overline{CLR}$

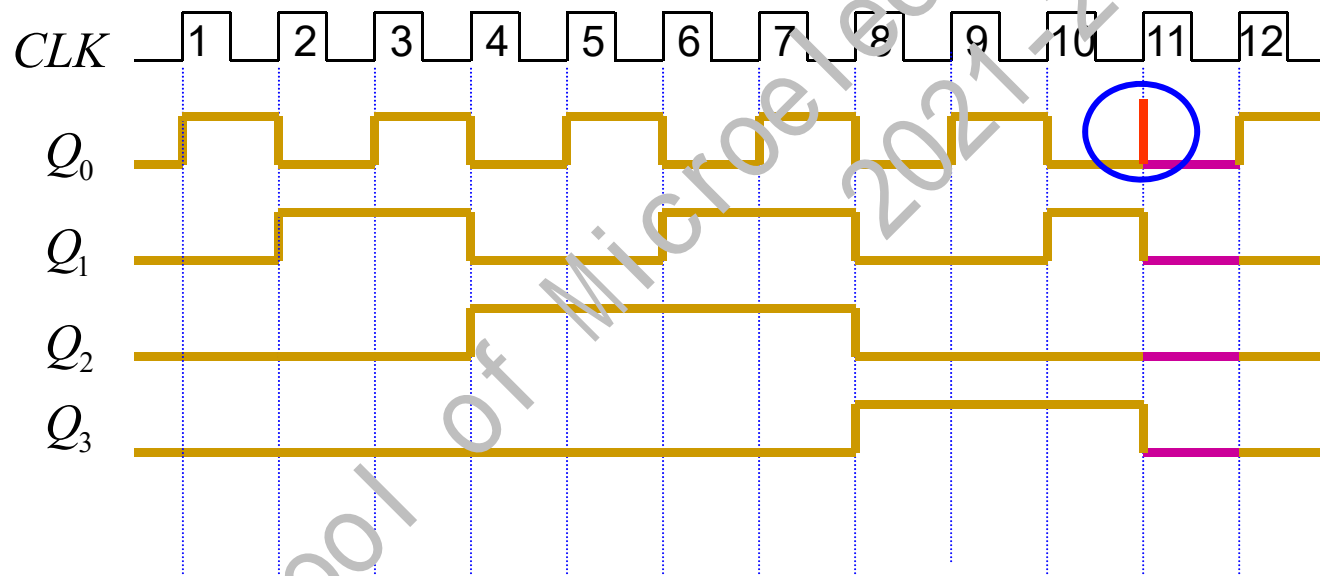
状态图



虚线部分：不稳定状态



波形图

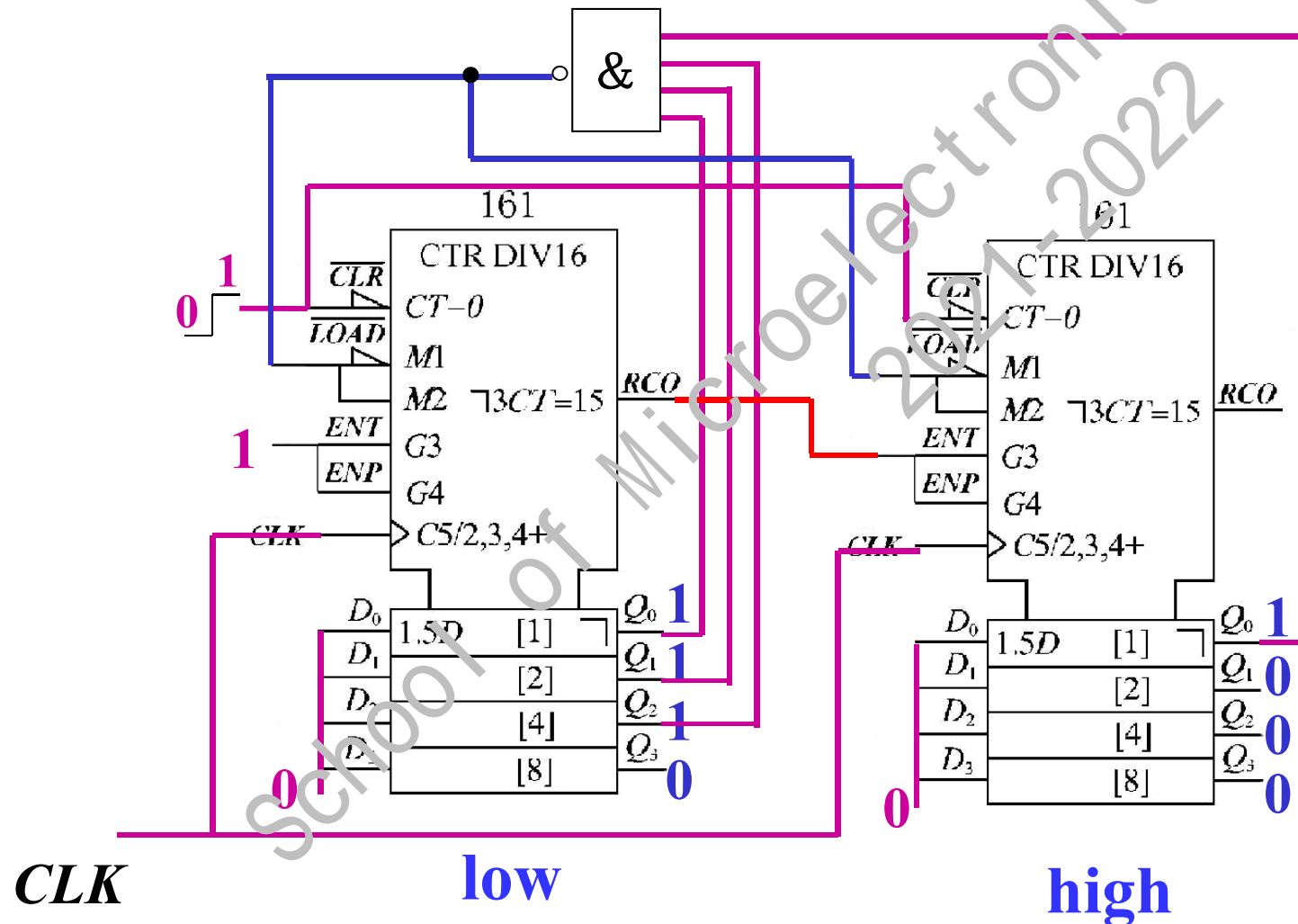


毛刺 glitch
(假信号)

方法1较优, 用 \overline{LD} 端归0

例 2. 用74161 设计模 24 计数器

两个 74161 最大状态: 23 (10111)

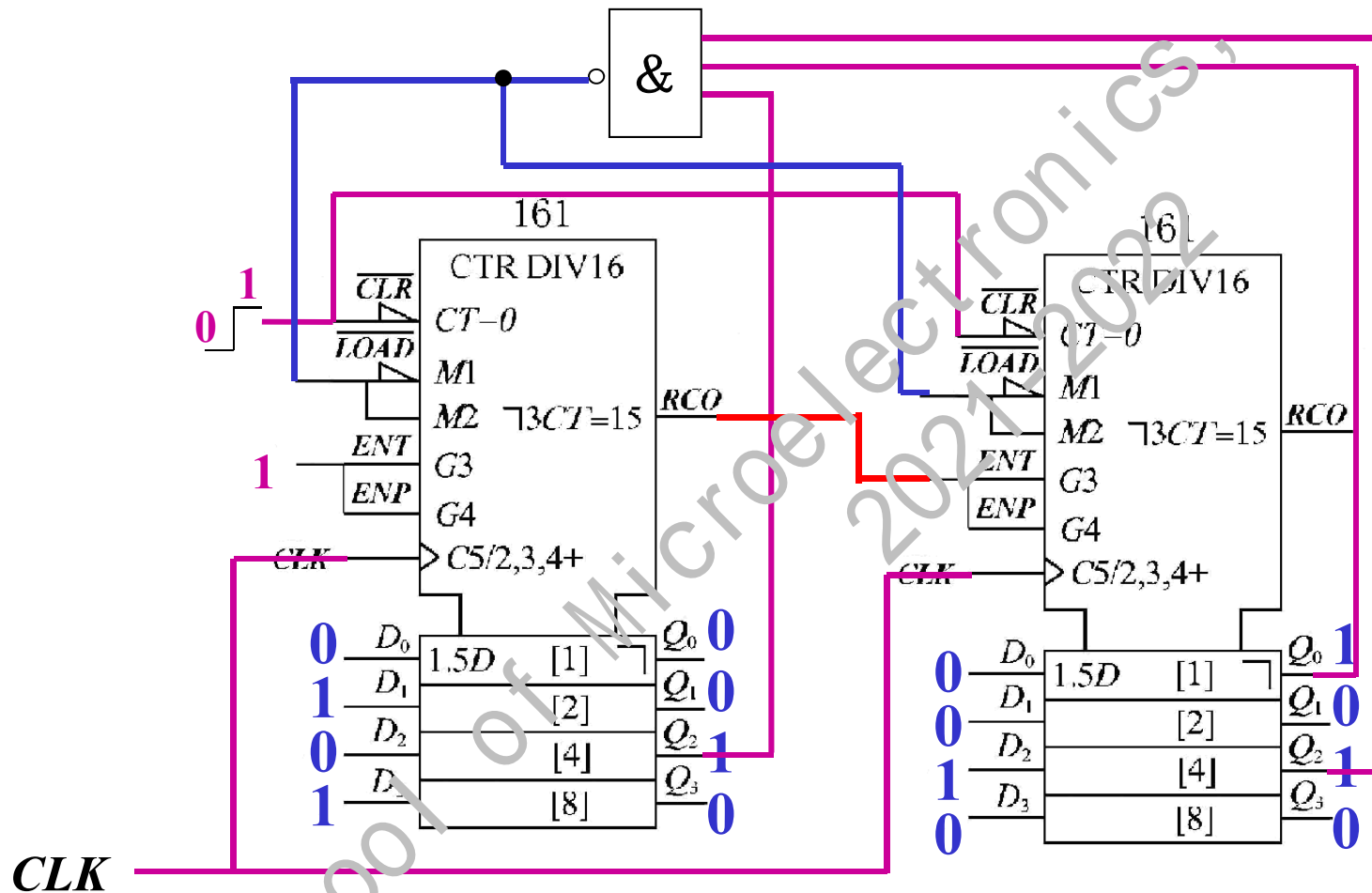


状态图



例 3. 求下图计数器电路的模值

M = ?



终点: 01010100 = 84

补数: 01001010 = 74

$$M = 84 - 74 + 1 = 11$$