

第五章 时序逻辑电路

❖ 概述

❖ 5.1 时序电路的基本分析和设计方法

- ❧ 5.1.1 时序电路的基本分析方法

- ❧ 5.1.2 时序电路的基本设计方法

❖ 5.2 计数器

- ❧ 5.2.1 计数器的特点和分类

- ❧ 5.2.2 二进制计数器

- ❧ 5.2.3 十进制计数器

- ❧ 5.2.4 N进制计数器

❖ 5.3 寄存器

- ❧ 5.3.1 寄存器的主要特点和分类

- ❧ 5.3.2 基本寄存器

- ❧ 5.3.3 移位寄存器

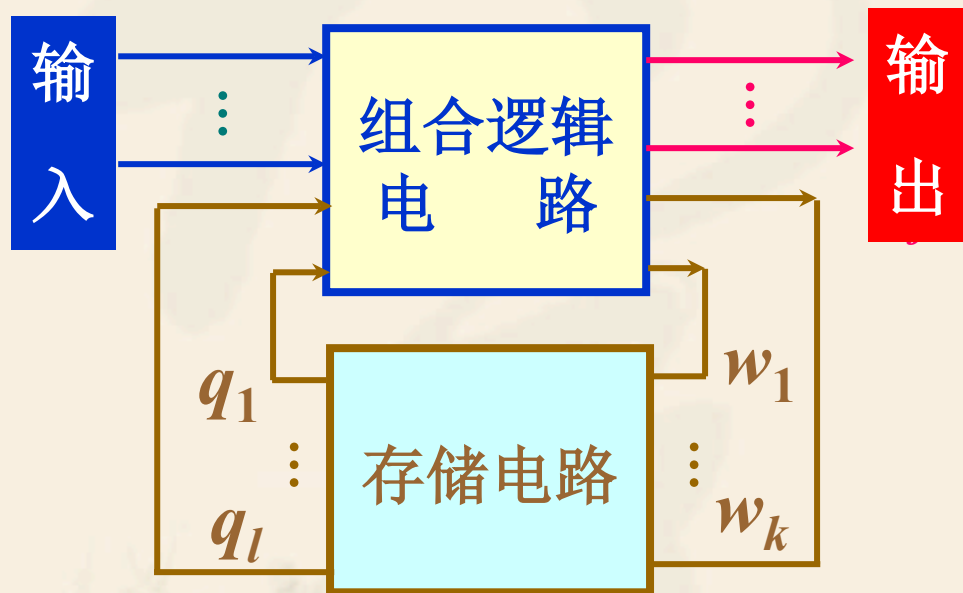
- ❧ 5.3.4 移位寄存器型计数器

概述

一、时序电路的特点

1. 逻辑功能特点

任何时刻电路的输出，不仅和该时刻的输入信号有关，而且还取决于电路原来的状态。



2. 电路组成特点

- (1) 与时间因素 (CP) 有关;
- (2) 含有记忆性的元件 (触发器)。

二、时序电路逻辑功能表示方法

1. 逻辑表达式

(1) 输出方程

$$Y(t_n) = F[X(t_n), Q(t_n)]$$

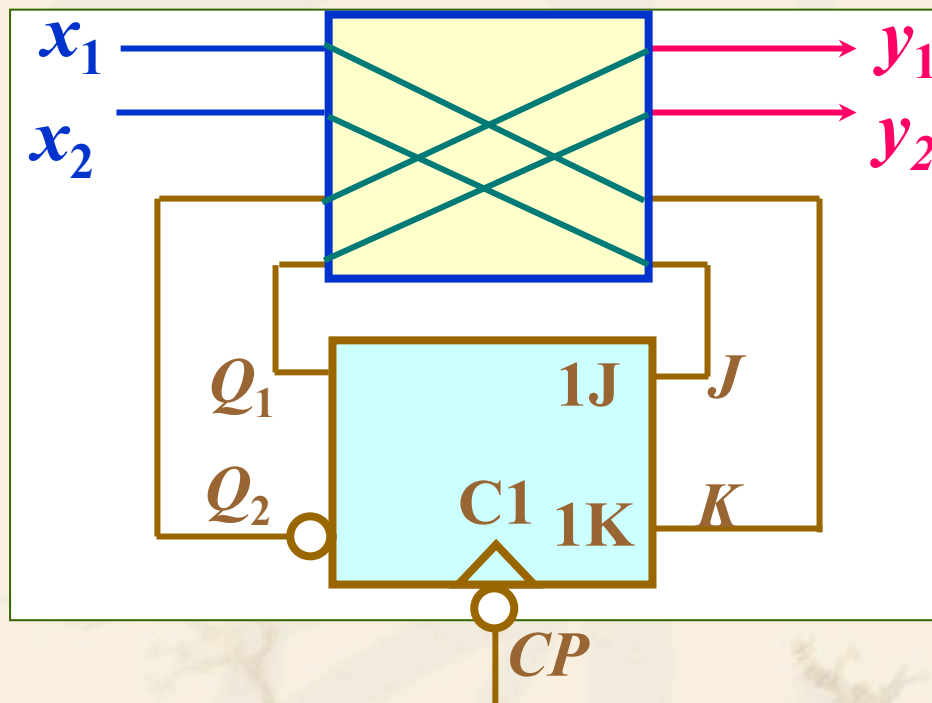
(2) 驱动方程

$$W(t_n) = G[X(t_n), Q(t_n)]$$

(3) 状态方程

$$Q(t_{n+1}) = H[W(t_n), Q(t_n)]$$

2. 状态表、卡诺图、状态图和时序图



三、时序逻辑电路分类

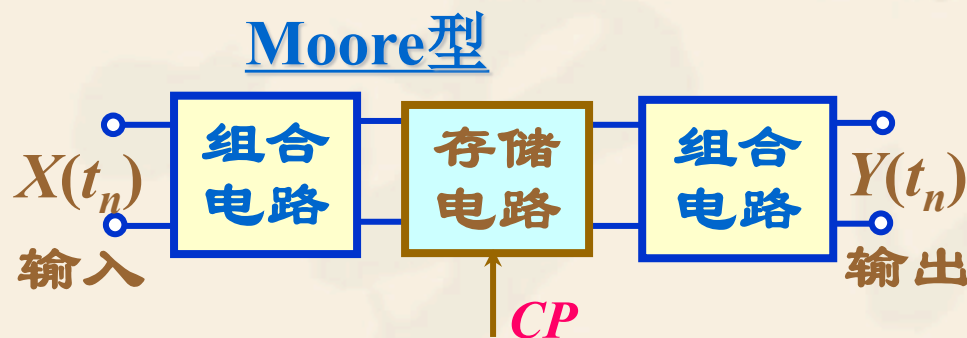
1. 按逻辑功能划分：计数器、寄存器、读/写存储器、顺序脉冲发生器等。

2. 按时钟控制方式划分：

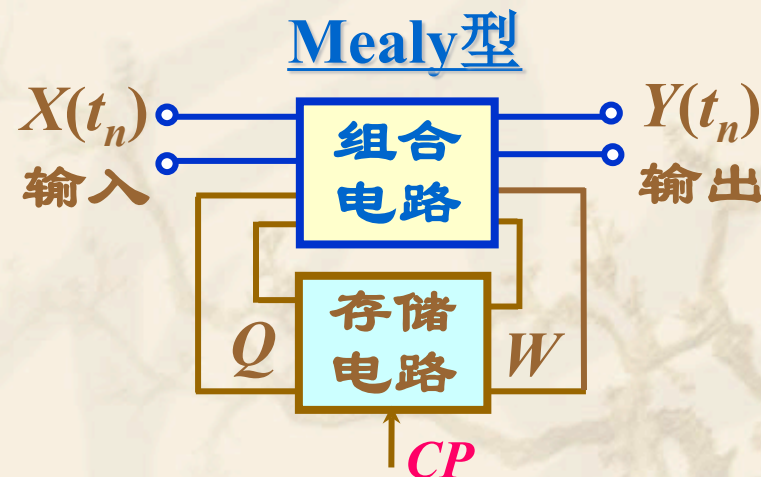
同步时序电路 触发器共用一个时钟 CP ，要更新状态的触发器同时翻转。

异步时序电路 电路中所有触发器没有共用一个 CP 。

3. 按输出信号的特性划分：



$$Y(t_n) = F[Q(t_n)]$$

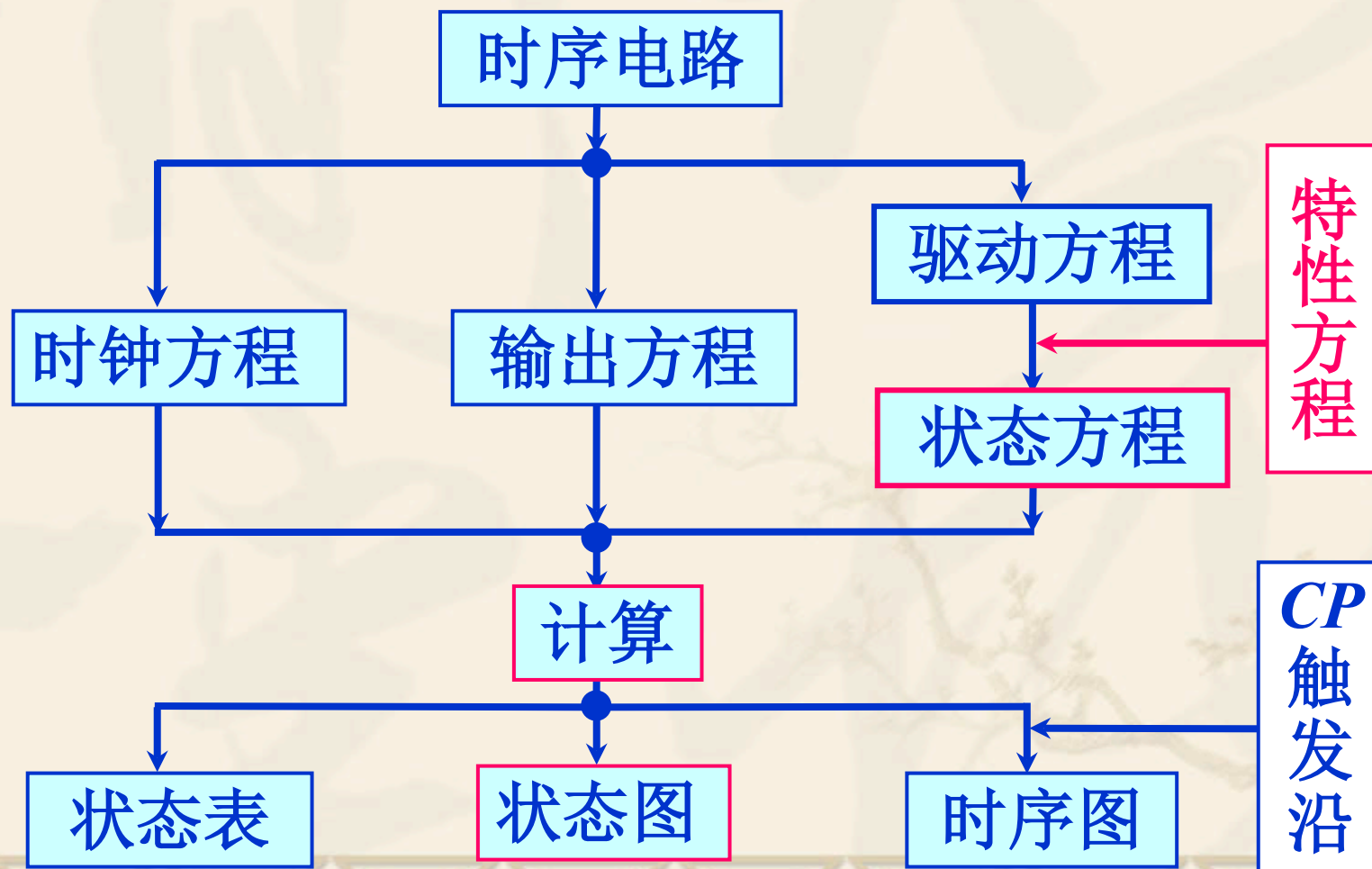


$$Y(t_n) = F[X(t_n), Q(t_n)]$$

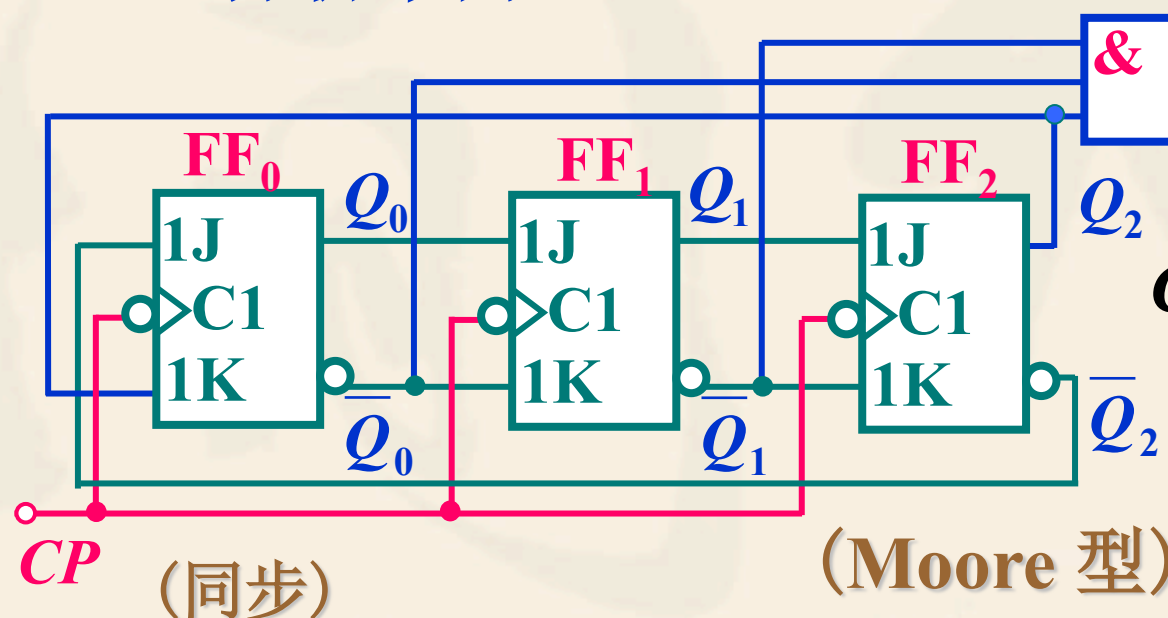
5.1 时序电路的基本分析和设计方法

5.1.1 时序电路的基本分析方法

一、分析的一般步骤



二、分析举例 [例 5.1.1]



方法1

[解] 写方程式

时钟方程

$$CP_0 = CP_1 = CP_2 = CP$$

输出方程

$$Y = \overline{Q_2^n} \overline{Q_1^n} \overline{Q_0^n}$$

驱动方程

特性方程

状态方程

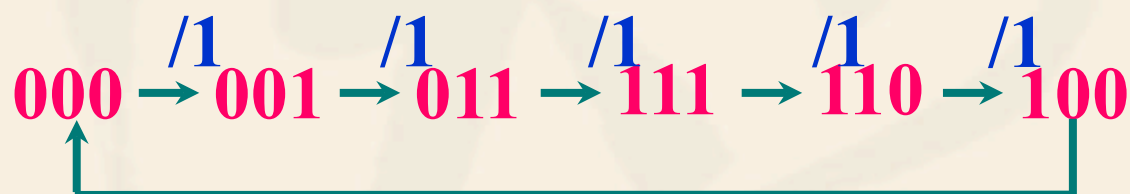
$$\begin{cases} J_0 = \overline{Q_2^n}, K_0 = \overline{Q_2^n} \\ J_1 = Q_0^n, K_1 = \overline{Q_0^n} \\ J_2 = Q_1^n, K_2 = Q_1^n \end{cases}$$

$$\begin{cases} Q_0^{n+1} = \overline{Q_2^n} \overline{Q_0^n} + \overline{Q_2^n} Q_0^n = \overline{Q_2^n} \\ Q_1^{n+1} = Q_0^n \overline{Q_1^n} + \overline{Q_0^n} Q_1^n = Q_0^n \\ Q_2^{n+1} = Q_1^n \overline{Q_2^n} + \overline{Q_1^n} Q_2^n = Q_1^n \end{cases}$$

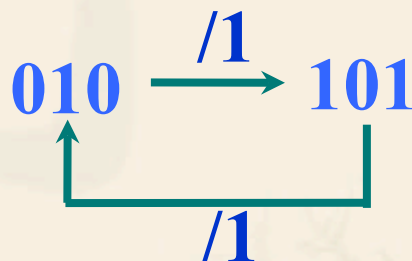
$$Q_2^{n+1} = Q_1^n \quad Q_1^{n+1} = Q_0^n \quad Q_0^{n+1} = \overline{Q_2^n} \quad Y = \overline{Q_2^n Q_1^n Q_0^n}$$

计算，列状态转换表 画状态转换图

CP	Q_2	Q_1	Q_0	Y
0	0	0	0	1
1	0	0	1	1
2	0	1	1	1
3	1	1	1	1
4	1	1	0	1
5	1	0	0	0
0	0	1	0	1
1	1	0	1	1
2	0	1	0	1



/0 有效状态和有效循环



无效状态和无效循环

能否自启动?

能自启动: 存在无效状态, 但没有形成循环。

不能自启动: 无效状态形成循环。

方法2 利用卡诺图求状态图

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

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

$$Q_0^{n+1} = \overline{Q_2^n}$$

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

Q_2^n	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	0	0	1	1

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

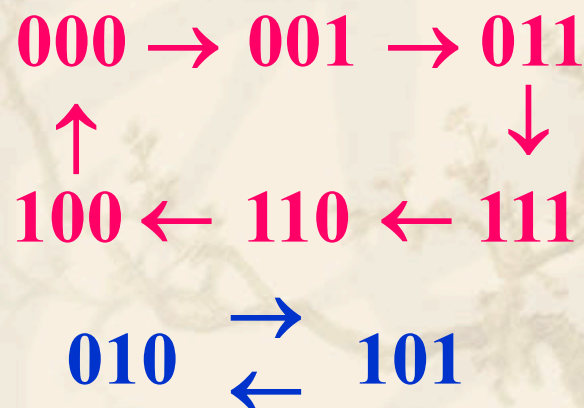
Q_2^n	00	01	11	10
0	0	1	1	0
1	0	1	1	0

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

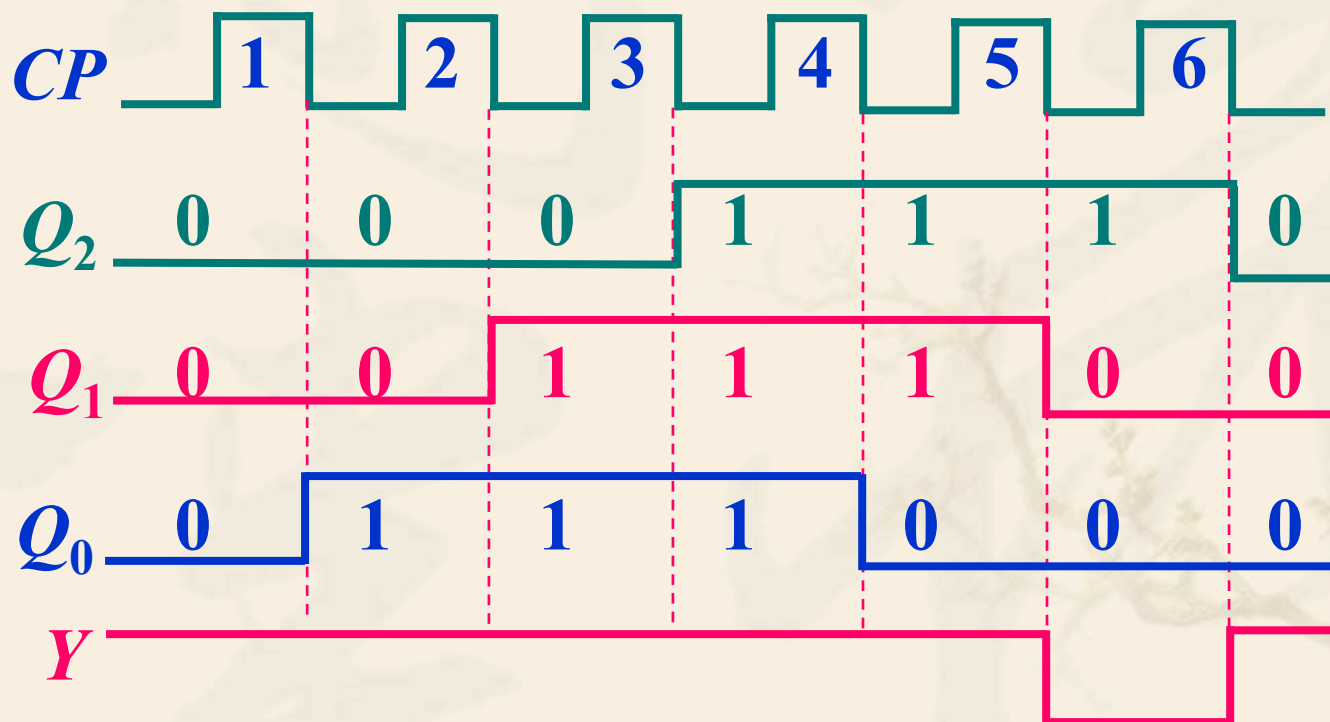
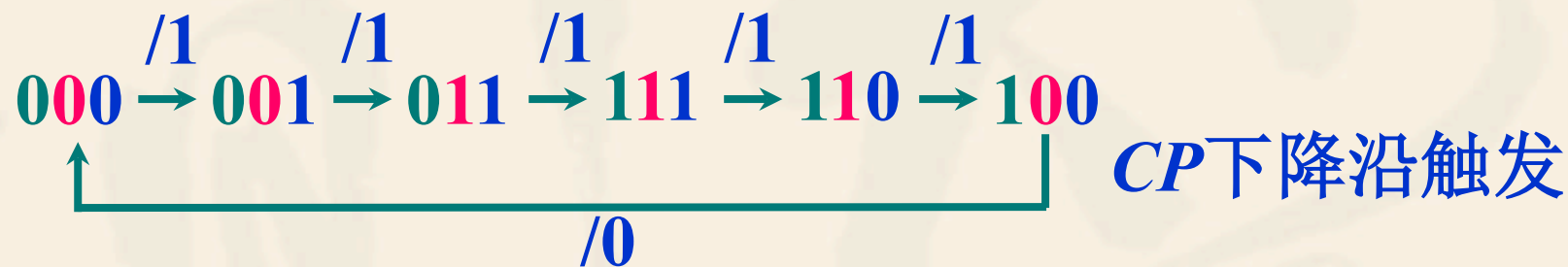
Q_2^n	00	01	11	00
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0

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

Q_2^n	00	01	11	10
0	001	011	111	101
1	000	010	110	100



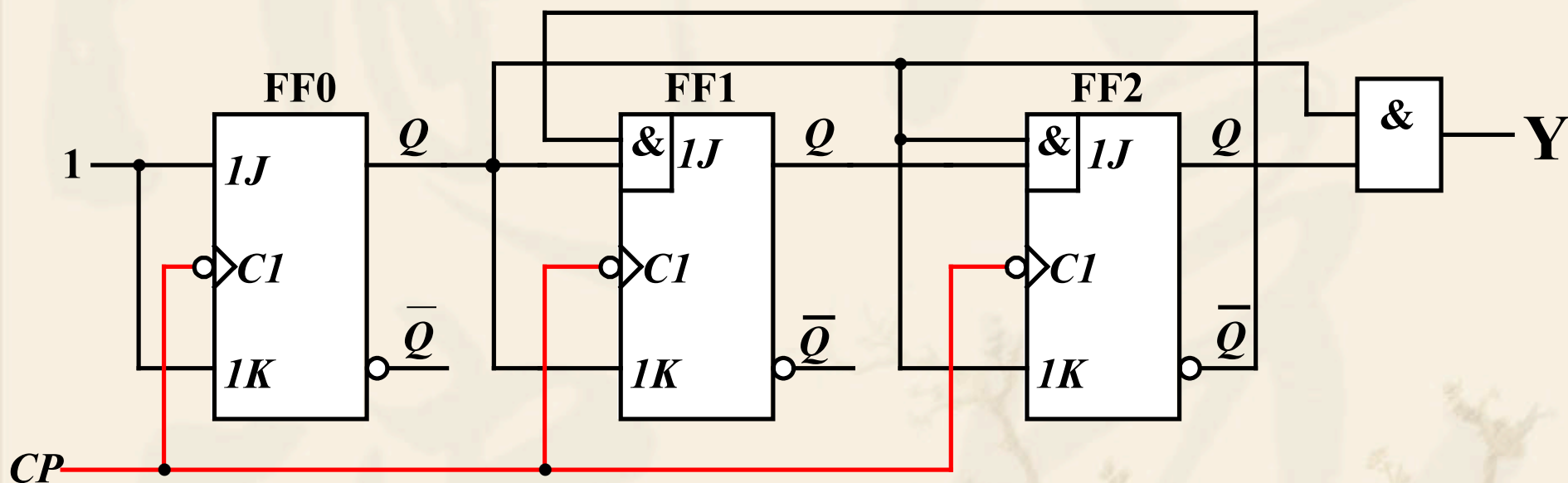
画时序图



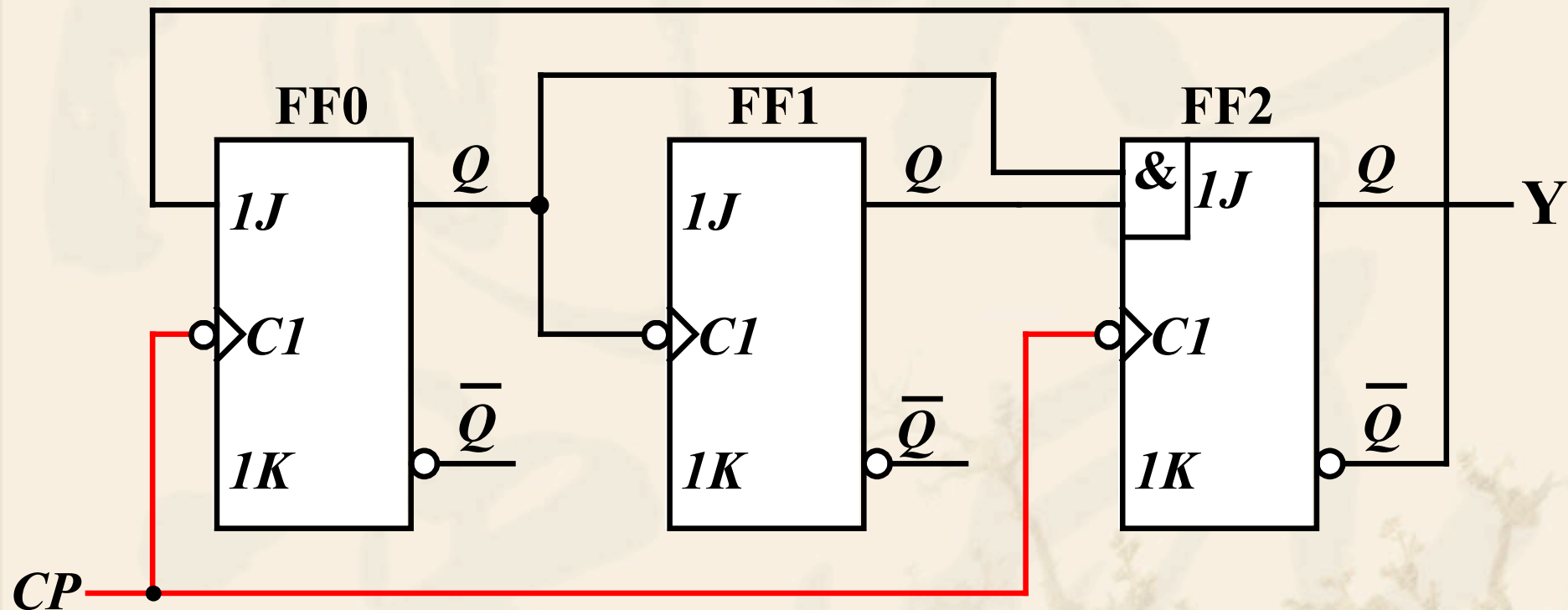
几个概念

- ❖ 有效状态：时序电路中，被利用了的状态
- ❖ 有效循环：时序电路中，有效状态形成的循环
- ❖ 无效状态：时序电路中，没有被用到的状态
- ❖ 无效循环：如果无效状态形成了循环
- ❖ 能自启动：无效状态在CP脉冲作用下能够进入有效循环，说明该电路能自启动。
- ❖ 不能自启动：无效状态在CP脉冲作用下不能进入有效循环，则该电路不能自启动。

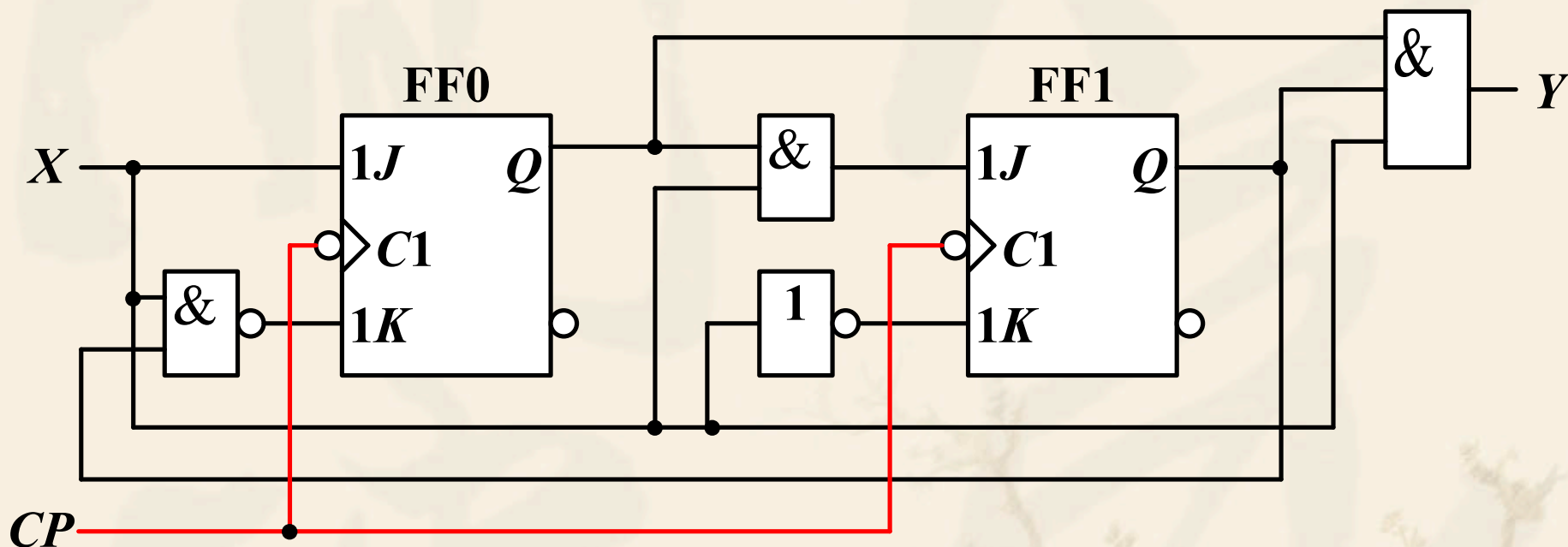
例5.1.2：试分析图示时序电路的逻辑功能



例5.1.3：试分析图示时序电路的逻辑功能。

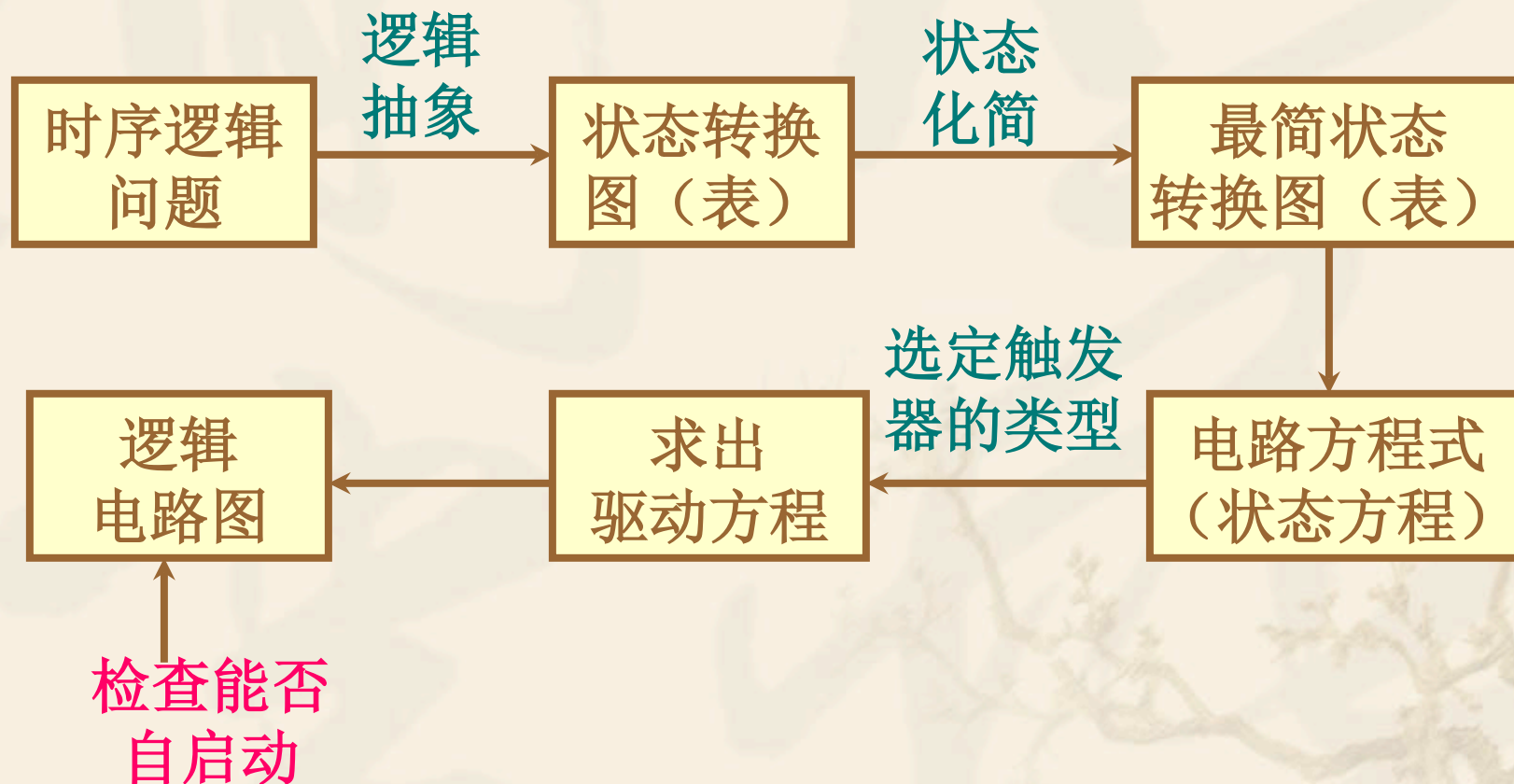


例5.1.4：试分析图示时序电路的逻辑功能。



5.1.2 时序电路的基本设计方法

1. 设计的一般步骤

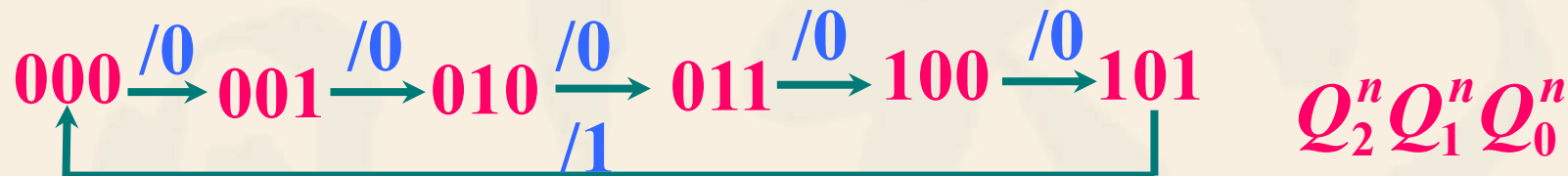


时序电路的设计步骤

- ❖ 1、画状态转换图或状态转换表
 - 确定输入变量、输出变量、状态数
 - 取原因或条件作为输入变量，结果作为输出变量。
 - 对输入、输出和电路状态进行定义，对电路状态顺序进行编号。
 - 按设计要求画出状态转换图或状态转换表。
- ❖ 2、状态化简
 - 将两个或多个等价状态合并成一个状态，等价状态的合并使电路的状态数目减少，电路简单。
 - 等价状态：两个状态在输入相同的条件下，转换到同一个次态，而且得到相同的输出。
- ❖ 3、状态分配
 - 时序电路的状态是用触发器的状态组合来表示的，因此需要确定触发器的数目。
- ❖ 4、确定FF类型并求驱动方程和输出方程
- ❖ 5、按照驱动和输出方程画出逻辑图
- ❖ 6、检查所设计的电路是否能自启动

2. 设计举例

[例 5.1.4] 按如下状态图设计时序电路。



[解] 已给出最简状态图，若用同步方式：

输出方程

Output equation: $Y = Q_2^n Q_1^n Q_0^n$

Output equation: $Y = Q_2^n Q_0^n$

状态方程

Next state equations: $Q_2^{n+1}, Q_1^{n+1}, Q_0^{n+1}$

Q_2^n	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	0	×	×

Next state equations:

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

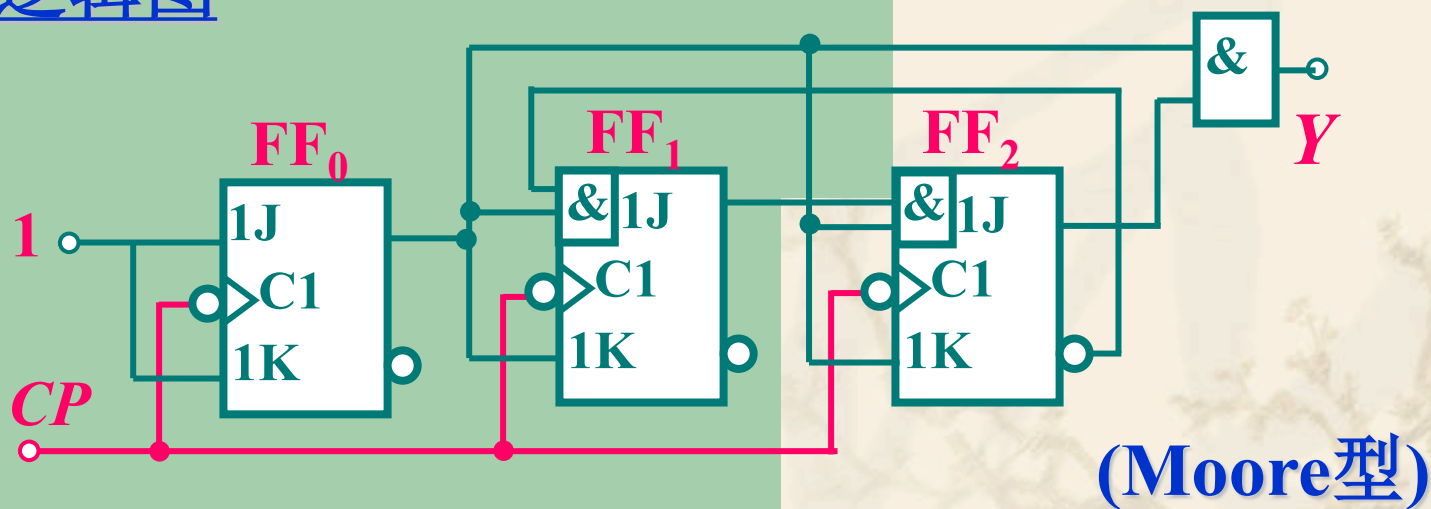
$$Q_1^{n+1} = \overline{Q_2^n} \overline{Q_1^n} Q_0^n + \underline{Q_1^n} \overline{Q_0^n}$$

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

检查能否自启动:

$110 \xrightarrow{/0} 111 \xrightarrow{/1} 000$
 能自启动

逻辑图



选用 JK 触发器

驱动方程

$$J_0 = \underline{K}_0 = 1$$

$$J_1 = Q_2 Q_0, K_1 = Q_0$$

$$J_2 = Q_1 Q_0, K_2 = Q_0$$

[例 5.1.5] 设计一个串行数据检测电路，要求输入 3 或 3 个以上数据 1 时输出为 1，否则为 0。

[解] 逻辑抽象，建立原始状态图

S_0 — 原始状态(0)

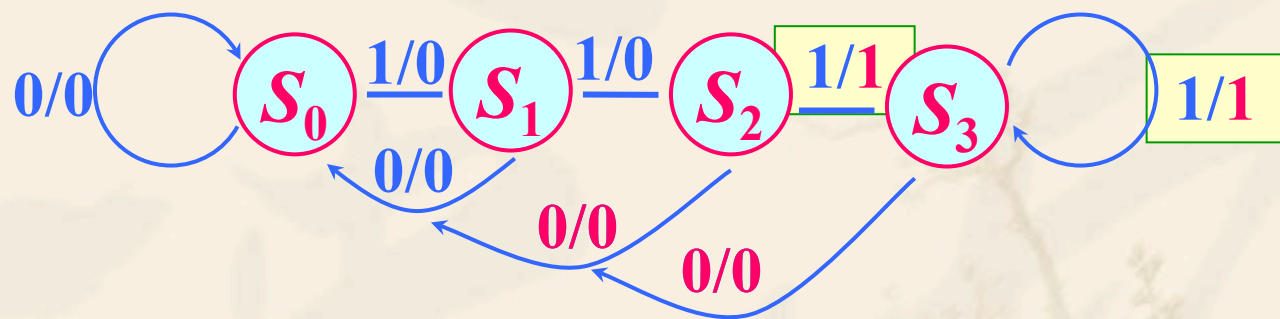
S_2 — 连续输入 2 个 1

S_1 — 输入 1 个 1

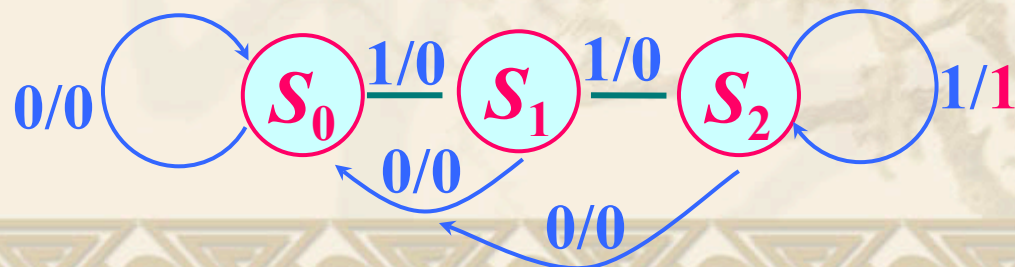
S_3 — 连续输入 3 或 3 个以上 1

X — 输入数据

Y — 输出数据



状态化简



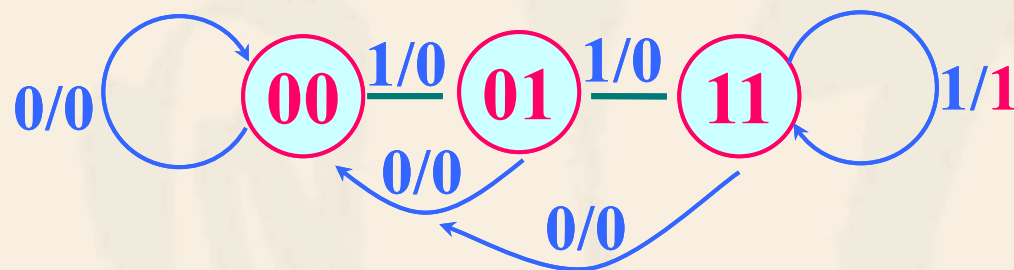
状态分配、状态编码、状态图

$M = 3$, 取 $n = 2$

$S_0 = 00$

$S_1 = 01$

$S_2 = 11$



选触发器、写方程式

选 $JK(\uparrow)$ 触发器, 同步方式

输出方程 $Y = XQ_1^n$

状态方程

Q_0^n Q_1^n Q_0^n

X	00	01	11	10
0	0	0	0	×
1	1	1	1	×

$$Q_1^{n+1} = XQ_0^n$$

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

驱动方程

$$\begin{aligned} Q_1^{n+1} &= XQ_0^n = XQ_0^n Q_1^n + XQ_0^n \overline{Q_1^n} + XQ_1^n \overline{Q_0^n} \\ &= XQ_1^n + XQ_0^n \overline{Q_1^n} \end{aligned}$$

约束项

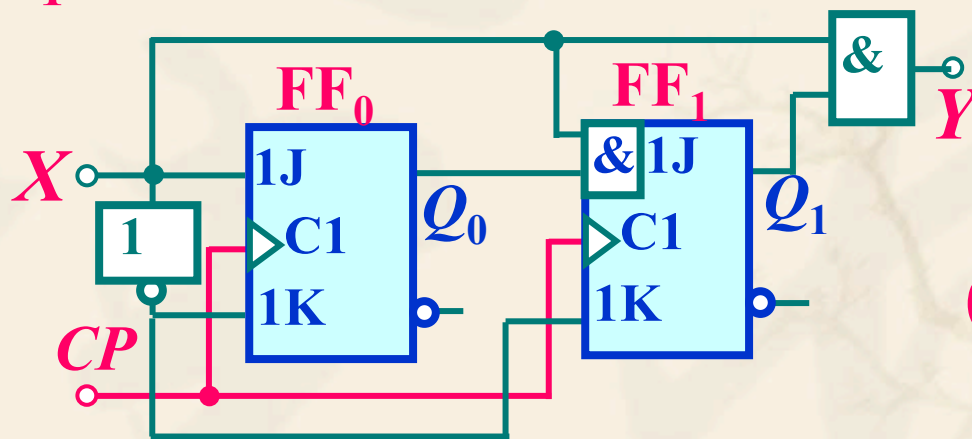
$$Q_0^{n+1} = X = XQ_0^n + X\overline{Q_0^n}$$

$$\begin{aligned} J_1 &= XQ_0^n \\ K_1 &= \overline{X} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_0 &= X \\ K_0 &= \overline{X} \end{aligned}$$

$$Y = XQ_1^n$$

逻辑图



无效状态 10



能自启动

(Mealy 型)