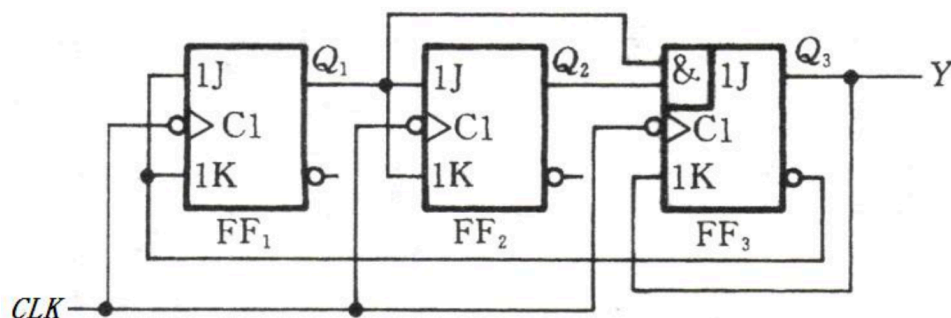


下面由这道题引入：

8、分析下面电路的逻辑功。能要求写出驱动方程、状态方程、填写状态转换表、画状态转换图、并说明其功能。



当看到这个图片，你很有可能是跟看天书一样，发出一句“这啥呀”的感叹。不急，我将讲慢慢展开讲解

一、图里都有些啥？

首先，简化一下这个电路图。

- 1、看到 CLK 或 CP 这两个符号，就当作其对应的线路不存在。注意：这不是输入！！不用去管！
- 2、 FF_3 ，也就是最右边一个触发器里面有个方框，写着 $\&$ ，表示这是一个与门

简化成下图所示:

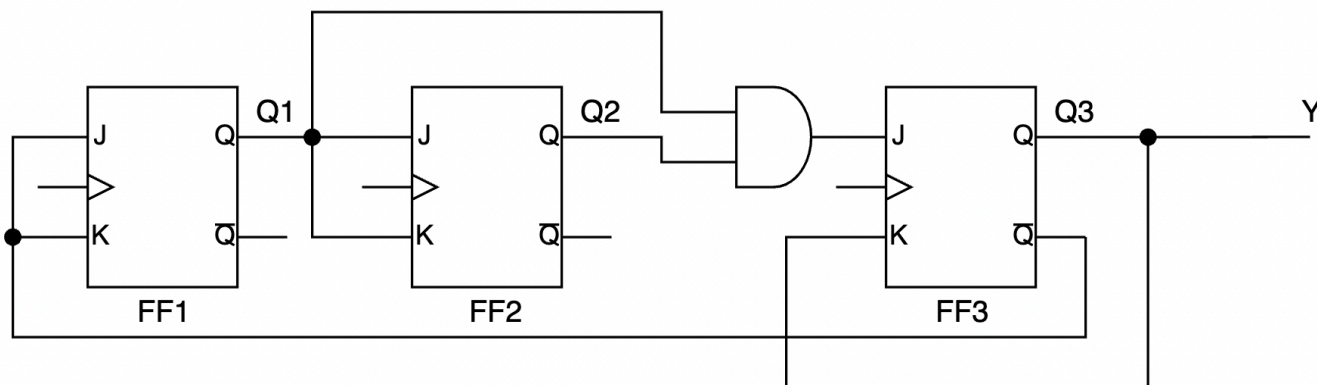


图1 简化电路图

1、输入输出变量

在图1中，输入是字母 X ，输出是字母 Y 。上图中找不到 X ，所以没有输入，只有一个输出 Y

补充概念：

- 摩尔型时序电路：输出与输入不直接相关
- 米利型时序电路：输出与输入直接相关

因为图1没有输入，所以这是一个摩尔型时序电路

2、触发器

FF_1 、 FF_2 、 FF_3 就是电路的核心部分——JK触发器

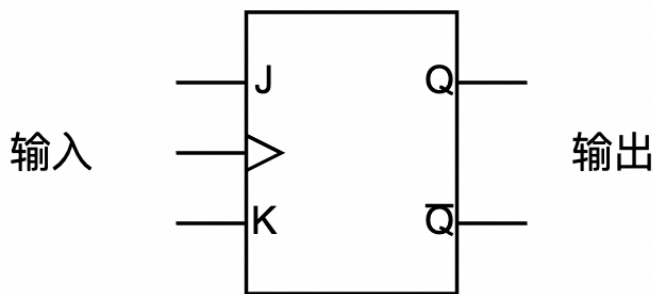


图2 JK触发器

关于触发器具体是什么，不是在这里就能说清楚的，文章最后会整理几类常见的触发器

首先记住：左边是输入，右边是输出。可以忽略左边中间的三角形（这是时钟输入，对做题没有影响）

对应到图2中， J 和 K 就是输入变量， Q 和 \bar{Q} 是输出变量

\bar{Q} 上面有条横线，代表对 Q 的取反。即，如果 Q 是0，那么 \bar{Q} 就是1

3、状态变量

图1中可以看到 Q 后面紧跟了 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 三个字母，称为状态变量

二、知道有啥了，然后呢？

1、特性方程

触发器有一个特性方程，是用来描述输入输出关系的，常见触发器的特性方程会在文章最后给出

图2中的JK触发器，对应的特性方程是：

$$Q^* = J\bar{Q} + \bar{K}Q \quad (1)$$

- Q^* 指的是触发器的次态
- Q 是触发器的现态，现态就是 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 ，这个是已知的

ps.我用的表达方式和书上是一致的，与老师给出的答案不一致，但本质是一样的

看不懂也不要紧，我们要做的是确定每一个触发器 J 和 K 的值，然后带进方程求出对应的 Q^*

2、驱动方程

那么，怎样才能确定 J 和 K 的值呢？

2.1 FF_1 触发器

首先来看 FF_1 的 J_1 和 K_1 ：

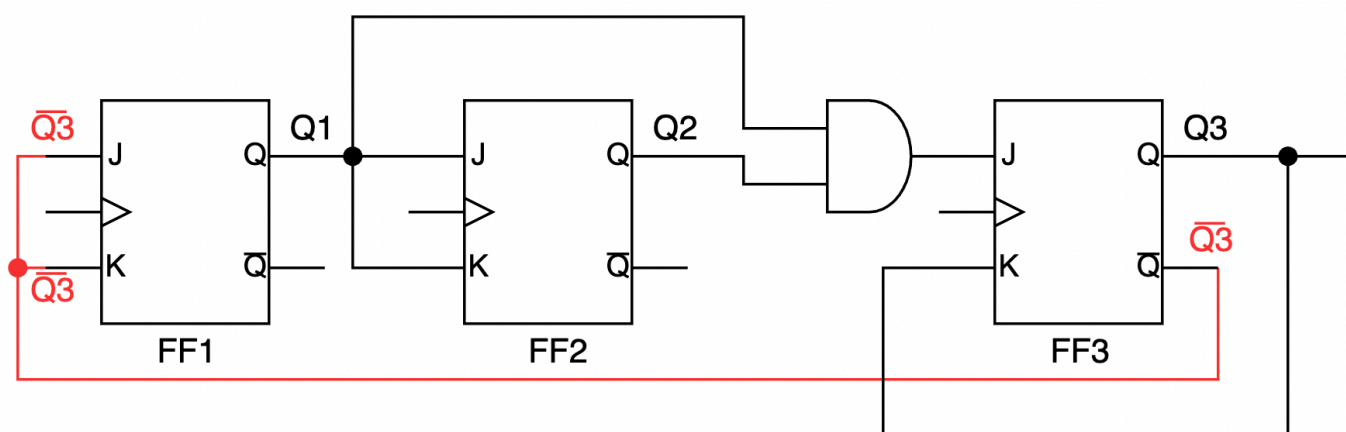


图3 FF_1 的驱动方程确定

用红线标出的电路与 FF_1 的 J_1 和 K_1 相关，可以很清晰看到， J_1 和 K_1 的信号来自 FF_3 的 \bar{Q} ，而此处的 \bar{Q} 是上面的 Q_3 取反，于是我们可以得到这个式子：

$$J_1 = K_1 = \bar{Q}_3 \quad (2)$$

这就是 J_1 和 K_1 的驱动方程

2.2 FF_2 触发器

同理，我们来看 FF_2 的 J_2 和 K_2 ：

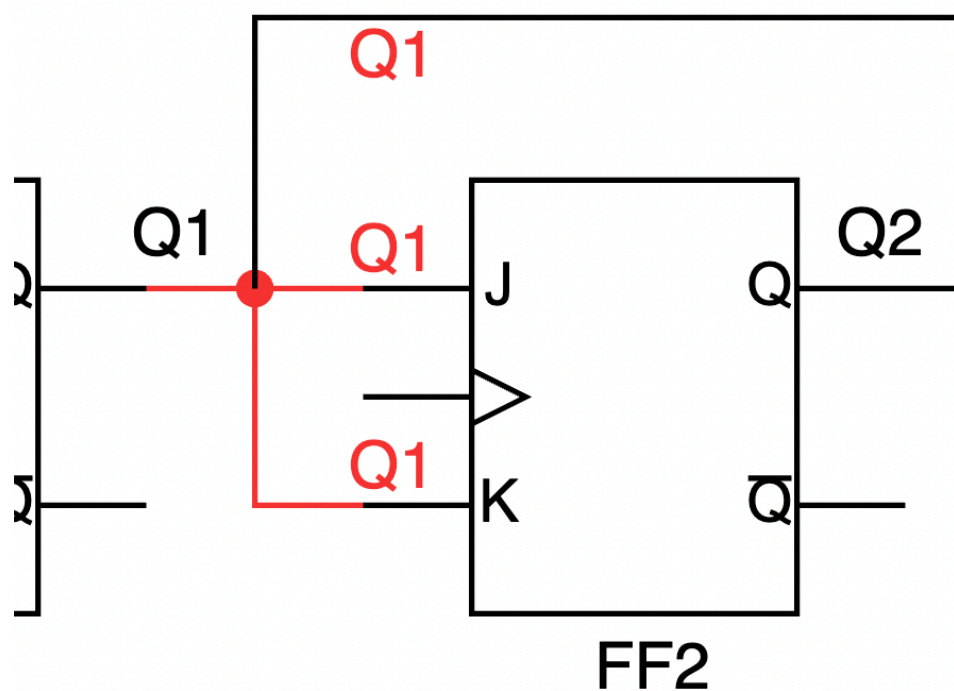


图4 FF2的驱动方程确定

可以看出， Q_1 往三条线路走， J_2 和 K_2 都只与 Q_1 相关，于是得出式子：

$$J_2 = K_2 = Q_1 \quad (3)$$

这就是 J_2 和 K_2 的驱动方程

2.3 FF_3 触发器

最后，来看一下较为复杂的 FF_3 的 J_3 和 K_3 ：

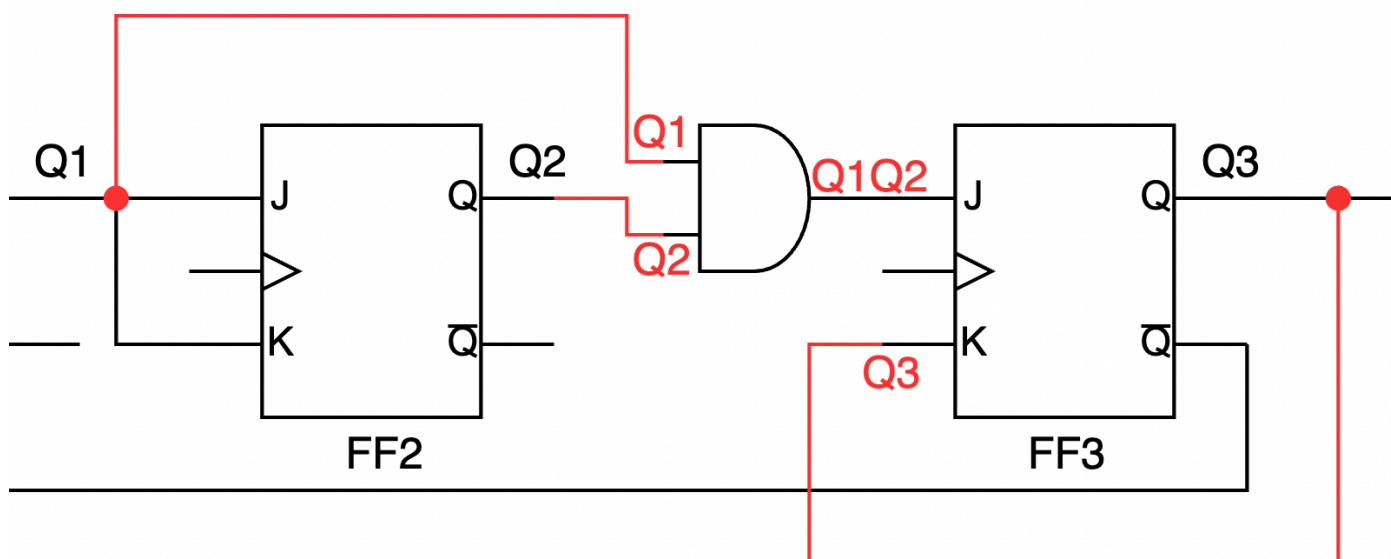


图5 FF3的驱动方程确定

其中的 K_3 可以很容易看出是等于 Q_3 的，而 J_3 则是由 Q_1 和 Q_2 经过一个与门得到，所以得出式子：

$$\begin{aligned} J_3 &= Q_1 Q_2 \\ K_3 &= Q_3 \end{aligned} \quad (4)$$

这就是 J_3 和 K_3 的驱动方程

3、状态方程

ok，到现在我们得到了每个触发器对应的驱动方程，我们还知道JK触发器的特性方程，接下去一步就是把驱动方程代入特性方程中，具体如下：

3.1 FF_1 触发器

将 $J_1 = K_1 = \bar{Q}_3$ 代入特性方程 $Q_1^* = J_1 \bar{Q}_1 + \bar{K}_1 Q_1$

得到：

$$Q_1^* = \bar{Q}_3 \bar{Q}_1 + Q_3 Q_1 = Q_3 \odot Q_1 \quad (5)$$

其中的 \odot 是同或的意思，化成这个形式方便接下去的运算，得不到 $Q_3 \odot Q_1$ 也没有关系，用 $\bar{Q}_3 \bar{Q}_1 + Q_3 Q_1$ 也能往下做

3.2 FF_2 触发器

将 $J_2 = K_2 = Q_1$ 代入特性方程 $Q_2^* = J_2 \bar{Q}_2 + \bar{K}_2 Q_2$

得到：

$$Q_2^* = Q_1 \bar{Q}_2 + \bar{Q}_1 Q_2 = Q_2 \oplus Q_1 \quad (6)$$

其中的 \oplus 是异或的意思，也是为了方便接下去的运算，得不到也没关系，用 $Q_1 \bar{Q}_2 + \bar{Q}_1 Q_2 = Q_2 \oplus Q_1$ 也能往下做

3.3 FF_3 触发器

将 $J_3 = Q_1 Q_2$ 和 $K_3 = Q_3$ 代入特性方程 $Q_3^* = J_3 \bar{Q}_3 + \bar{K}_3 Q_3$

得到：

$$Q_3^* = Q_1 Q_2 \bar{Q}_3 + \bar{Q}_3 Q_3 = \bar{Q}_3 Q_2 Q_1 \quad (7)$$

调整下标的方向也是为了后续的计算，这个地方看情况灵活调整

4、输出方程

最后要写一个方程，就是输出变量 Y 对应的方程，如图所示：

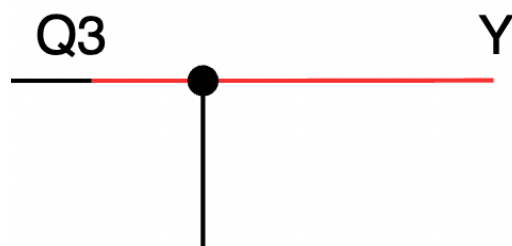


图6 输出方程确定

很容易可以得到：

$$Y = Q_3 \quad (8)$$

三、方程都写出来了，但到底有啥用？

1、状态表

我们已经得到了以下的三个状态方程和一个输出方程，接下去就是列出状态表

$$\begin{aligned} Q_1^* &= Q_3 \odot Q_1 \\ Q_2^* &= Q_2 \oplus Q_1 \\ Q_3^* &= \bar{Q}_3 Q_2 Q_1 \\ Y &= Q_3 \end{aligned} \quad (9)$$

首先画出状态表的初始情况：

Q_3	Q_2	Q_1	Q_3^*	Q_2^*	Q_1^*	Y
0	0	0				
0	0	1				
0	1	0				
0	1	1				
1	0	0				
1	0	1				
1	1	0				
1	1	1				

表1 初始状态表

然后根据 Q_3 、 Q_2 、 Q_1 的值，使用状态方程和输出方程计算出后面四列对应的值，得出：

Q_3	Q_2	Q_1	Q_3^*	Q_2^*	Q_1^*	Y
0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	0
0	1	0	0	1	1	0
0	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1
1	0	1	0	1	1	1
1	1	0	0	1	0	1
1	1	1	0	0	1	1

表2 状态表

注意：

- 一定要看好状态方程里下标所对应的值，容易弄混
- 要对基础的逻辑运算有一定的了解：与、或、非、同或、异或

2、状态图

得到了真值表就可以画出对应的状态图

首先要确定每个状态对应的状态变量，如下图所示（注意下标！）因为只用到了 $Q_3Q_2Q_1$ ，暂时忽略 Y



图7 状态变量

如表3所示， $Q_3Q_2Q_1$ 对应的是状态表的左半部分，从000开始，箭头指向右半部分，即001，画出的图如图8所示

Q_3	Q_2	Q_1	Q_3^*	Q_2^*	Q_1^*
0	0	0	0	0	1

表3 状态表第1行

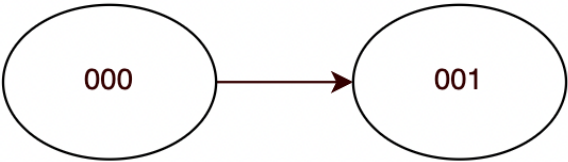


图8 从000指向001

接下去的一步和上一步有很大关联，从001开始，即001是状态表的左半部分，指向右半部分的010，画的图如图9所示

Q_3	Q_2	Q_1	Q_3^*	Q_2^*	Q_1^*
0	0	1	0	1	0

表4 状态表第2行

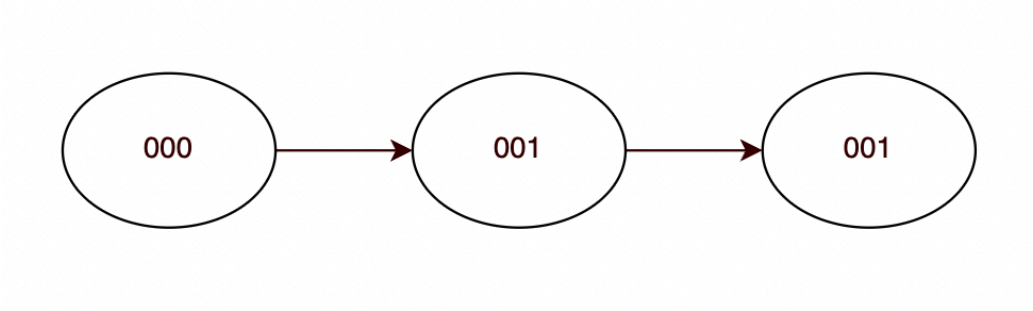


图9 从001指向010

以此类推，直到回到000：

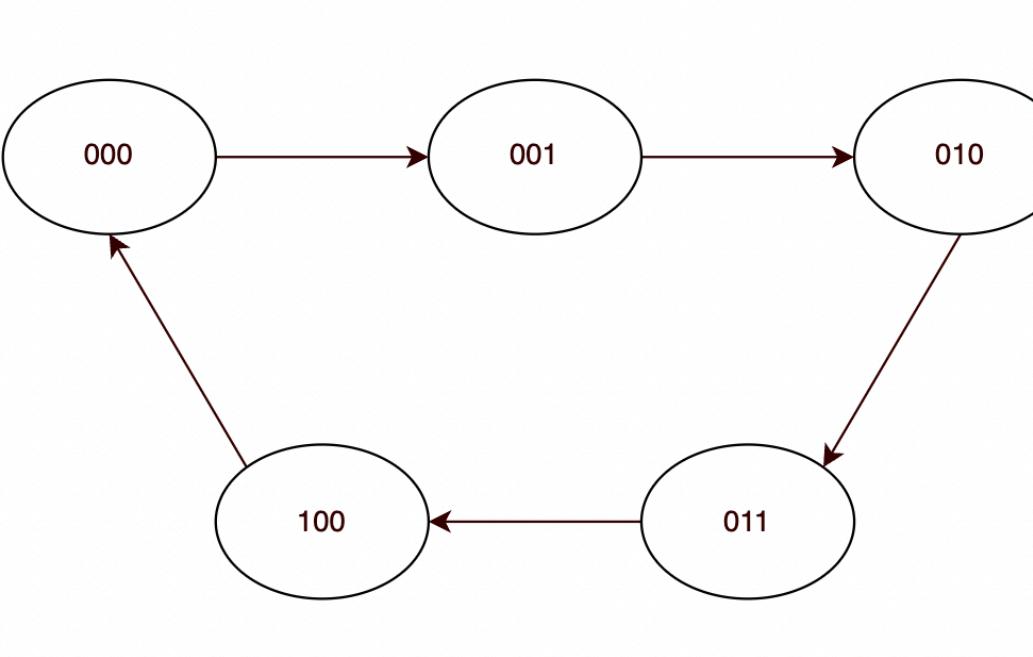


图10 回到000

此时状态表里还剩下一些没有用到的值：

Q_3	Q_2	Q_1	Q_3^*	Q_2^*	Q_1^*
1	0	1	0	1	1
1	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	1

表5 剩下的状态表

右半部分对应的值就是图10里已经画好的值。依然是左半部分指向右半部分，即101指向011、110指向010、111指向001，如图11所示，得到最终的状态图

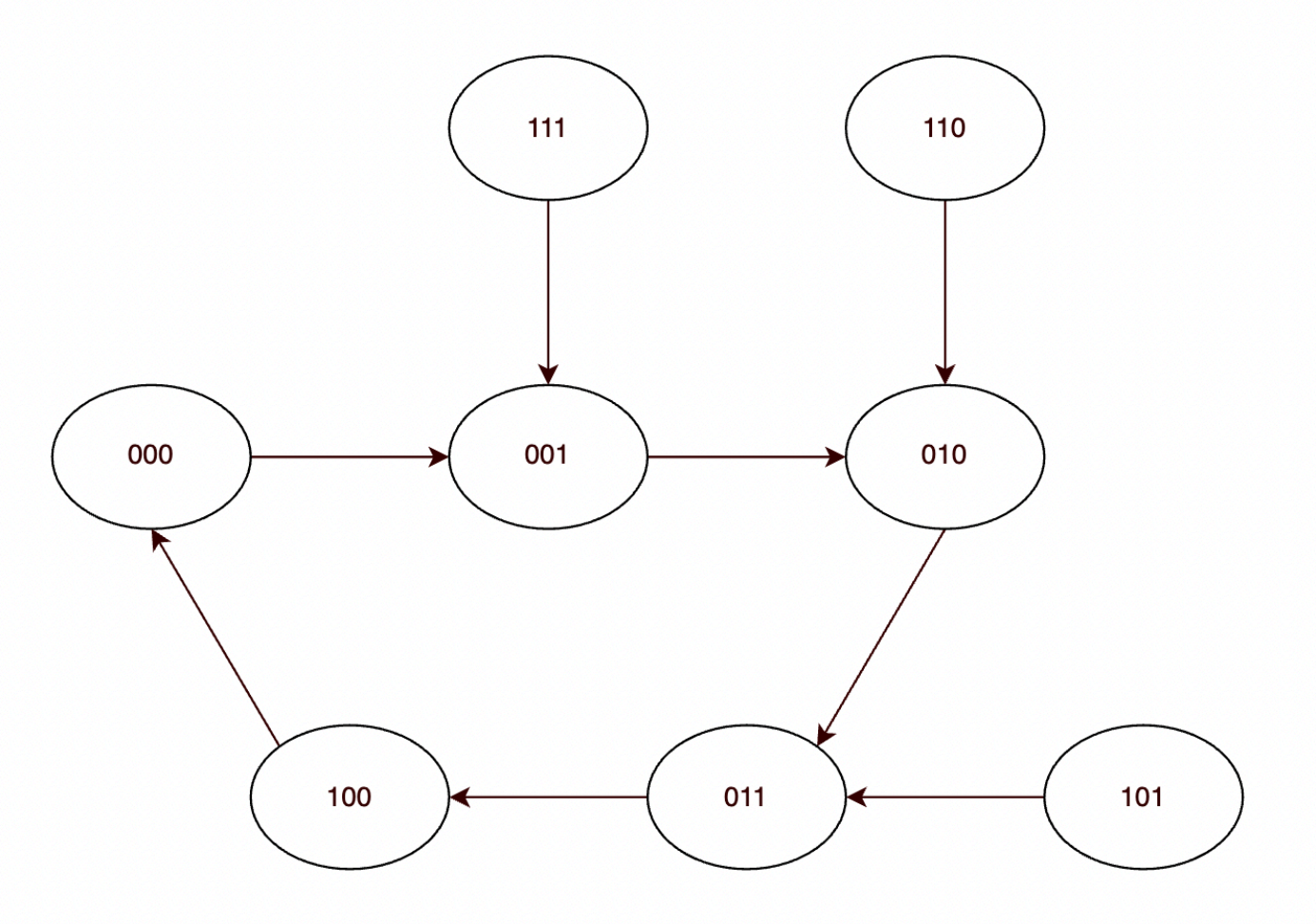


图11 状态图

四、收尾

一般情况下，就到了最后一步，即判断电路的逻辑功能，由状态图和状态表可知，这是一个能自启动的五进制计数器，Y为进位输出端

至于如何判断出来的，以我目前的知识难以作出令人信服的解释。看到类似的状态图，就知道是能自启动的N进制计数器

涉及到输入输出的分析，可能还要用到时序图（如书本P266的例题10.2）

如果出卷合理，逻辑功能这部分就是用来做区分的，估计分值也不会占太多

一定要把前面的基础分数拿到手，这部分是可以通过练习从而掌握的

五、常见触发器特性方程

1、基本RS触发器

$$Q^* = RQ + \bar{S} \tag{10}$$

约束条件：

$$R + S = 1 \tag{11}$$

2、JK触发器（主从或边沿）

$$Q^* = J\bar{Q} + \bar{K}Q \tag{12}$$

3、边沿D触发器

$$Q^* = D \tag{13}$$

4、T触发器

$$Q^* = T\bar{Q} + \bar{T}Q \tag{14}$$

参考郝晓丽的《电路与电子技术基础》P264-265

使用[typora](#)进行书写

图像使用[draw.io](#)进行绘制

公式由Katex进行渲染