

# 第九次数电实验

郝裕玮

18329015

2019 级教务四班

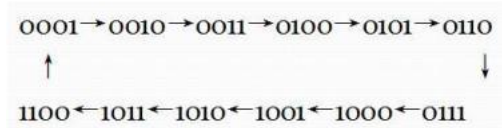
## 一、实验目的

1. 熟悉 J-K 触发器的逻辑功能。
2. 掌握 J-K 触发器构成特殊计数器的方法。

## 二、实验原理

### 1. 特殊计数器的设计

使用触发器实现计数器的设计需按照时序电路的设计步骤得到触发器的驱动方程, 画出逻辑图, 连接电路实现。以设计特殊的十二进制计数器（没有 0000、1101、1110、1111 状态, 需考虑自启动）为例, 用 J-K 触发器和门电路设计实现如下图 4-23 所示的十二进制计数器。



特殊计数器的设计步骤如下:

- (1) 确定电路所需触发器数目。

如十二进制计数器状态转换图所示, 十二进制计数器的有效状态为  $m=12$ , 求所需触发器数目  $n$ 。

根据  $2^n \geq m=12$ , 可得  $n=4$ , 即需要 4 个 J-K 触发器

- (2) 画出十二进制计数器的  $Q_3Q_2Q_1Q_0$  次态卡诺图, 如下图 4-24 所示。

$Q_1^nQ_0^n$		00	01	11	10
$Q_3^nQ_2^n$	00	X	0010	0100	0011
	01	0101	0110	1000	0111
	11	0001	x	x	x
	10	1001	1010	1100	1011

图 4-24 十二进制计数器次态卡诺图

(3) 分别化简  $Q_3$ 、 $Q_2$ 、 $Q_1$ 、 $Q_0$  次态卡诺图，如下图 4-25 所示。在次态卡诺图化简过程中需注意包含  $Q^n$  和  $\overline{Q}^n$  项的保留，以便下一步 J-K 触发器 J、K 表达式的得到。

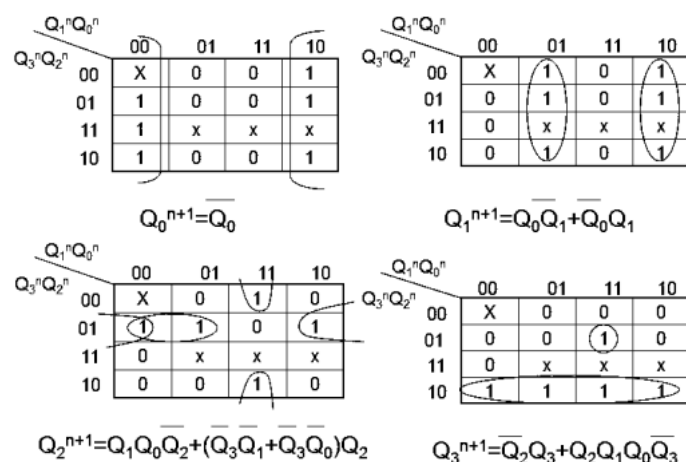


图 4-25 十二进制计数器  $Q_3$ 、 $Q_2$ 、 $Q_1$ 、 $Q_0$  次态卡诺图的化简

(4) 通过对照  $Q_3^{n+1}$ 、 $Q_2^{n+1}$ 、 $Q_1^{n+1}$ 、 $Q_0^{n+1}$  的输出表达式与 J-K 触发器的特征方程  $Q^{n+1} = J\overline{Q}^n + \overline{K}Q^n$ ，可得到 J-K 触发器的驱动方程。

$$\begin{cases}
 Q_0^{n+1} = Q_0 \\
 Q_1^{n+1} = Q_0 \overline{Q_1} + Q_0 Q_1 \\
 Q_2^{n+1} = Q_1 Q_0 \overline{Q_2} + (Q_3 \overline{Q_1} + Q_3 \overline{Q_0}) Q_2 \\
 Q_3^{n+1} = Q_2 Q_3 + Q_2 Q_1 Q_0 \overline{Q_3}
 \end{cases}$$

$$\begin{cases}
 J_0 = K_0 = 1 \\
 J_1 = K_1 = Q_0 \\
 J_2 = Q_1 Q_0, \quad K_2 = \overline{Q_3 \overline{Q_1} + Q_3 \overline{Q_0}} = \overline{Q_3 \overline{Q_1} Q_0} \\
 J_3 = Q_2 Q_1 Q_0, \quad K_3 = Q_2
 \end{cases}$$

(5) 检查自启动，如下图 4-26 所示，根据上述  $Q_3$ 、 $Q_2$ 、 $Q_1$ 、 $Q_0$  次态卡诺图的化简确定  $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$  次态卡诺图中所有不确定项（即 0000、1101、1110、1111 状态的次态），从而确认 J-K 触发器清零以及进入异常计数状态后如何重新开始计数，即实现计数器的自启动。如果检查发现电路不能实现异常计数状态的自启动，则应该修改电路设计。

$Q_1^n Q_0^n$		00	01	11	10
$Q_3^n Q_2^n$	00	0001	0010	0100	0011
	01	0101	0110	1000	0111
	11	0001	0010	0000	0011
	10	1001	1010	1100	1011

图 4-26 计数器电路自启动的检查

### 三、实验内容与电路设计

实验内容为：用 J-K 触发器和门电路设计一个特殊的十进制同步计数器，用示波器数字通道观察并记录连续脉冲和计数器 Q3、Q2、Q1、Q0 的输出波形，分析并验证电路功能。

$0001 \leftarrow 0010 \leftarrow 0011 \leftarrow 0100 \leftarrow 0101$   
 $\downarrow \qquad \qquad \qquad \uparrow$   
 $1010 \rightarrow 1001 \rightarrow 1000 \rightarrow 0111 \rightarrow 0110$

这个十进制同步计数器没有 0000、1011、1100、1101、1110、1111 状态，电路设计要考虑自启动。

所以电路设计过程如下：

- (1) 确定电路所需触发器数目。

该特殊的十进制同步计数器的有效状态为  $m=10$ ，求所需触发器数目  $n$ 。根据  $2^n \geq m=10$ ，

可得  $n=4$ ，即需要 4 个 J-K 触发器。

- (2) 画出十进制计数器的 Q3Q2Q1Q0 次态卡诺图，如下表所示。

$Q_1^n Q_0^n$		00	01	11	10
$Q_3^n Q_2^n$	00	X	1010	0010	0001
	01	0011	0100	0110	0101
	11	X	X	X	X
	10	0111	1000	X	1001

- (3) 分别化简 Q3、Q2、Q1、Q0 次态卡诺图，如下表所示。在次态卡诺图化简过程中需注意

包含  $Q^n$  和  $\overline{Q}^n$  项的保留，以便下一步 J-K 触发器 J、K 表达式的得到。

对于  $Q_3^{n+1}$  :

$Q_1^n Q_0^n \backslash Q_3^n Q_2^n$	00	01	11	10
00	X	1	0	0
01	0	0	0	0
11	X	X	X	X
10	0	1	X	1

化简可得:  $Q_3^{n+1} = \overline{Q_1} \overline{Q_2} \overline{Q_3} + (Q_0 + Q_1) Q_3$

对于  $Q_2^{n+1}$  :

$Q_1^n Q_0^n \backslash Q_3^n Q_2^n$	00	01	11	10
00	X	0	0	0
01	0	1	1	1
11	X	X	X	X
10	1	0	X	0

化简可得:  $Q_2^{n+1} = \overline{Q_0} \overline{Q_1} \overline{Q_2} + (Q_0 + Q_1) Q_2$

对于 $Q_1^{n+1}$  :

$Q_1^n Q_0^n$	00	01	11	10
$Q_3^n Q_2^n$				
00	X	1	1	0
01	1	0	1	0
11	X	X	X	X
10	1	0	X	0

化简可得:  $Q_1^{n+1} = (\overline{Q_2} \overline{Q_3} + \overline{Q_0}) \overline{Q_1} + Q_0 Q_1$

对于 $Q_0^{n+1}$  :

$Q_1^n Q_0^n$	00	01	11	10
$Q_3^n Q_2^n$				
00	X	0	0	1
01	1	0	0	1
11	X	X	X	X
10	1	0	X	1

化简可得:  $Q_0^{n+1} = \overline{Q_0}$

(4) 通过对照 $Q_3^{n+1}$ 、 $Q_2^{n+1}$ 、 $Q_1^{n+1}$ 、 $Q_0^{n+1}$ 的输出表达式与 J-K 触发器的特征方程

$Q^{n+1} = J\overline{Q}^n + \overline{K}Q^n$ , 可得到 J-K 触发器的驱动方程。

$$\begin{cases} Q_0^{n+1} = \overline{Q_0} \\ Q_1^{n+1} = (\overline{Q_2} \overline{Q_3} + \overline{Q_0}) \overline{Q_1} + Q_0 Q_1 \\ Q_2^{n+1} = \overline{Q_0} \overline{Q_1} \overline{Q_2} + (Q_0 + Q_1) Q_2 \\ Q_3^{n+1} = \overline{Q_1} \overline{Q_2} \overline{Q_3} + (Q_0 + Q_1) Q_3 \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} J_0 = K_0 = 1 \\ J_1 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_3 + \bar{Q}_0, K_1 = \bar{Q}_0 \\ J_2 = \bar{Q}_0 \bar{Q}_1, K_2 = \overline{Q_0 + Q_1} = \bar{Q}_0 \bar{Q}_1 \\ J_3 = \bar{Q}_1 \bar{Q}_2, K_3 = \overline{Q_0 + Q_1} = \bar{Q}_0 \bar{Q}_1 \end{array} \right.$$

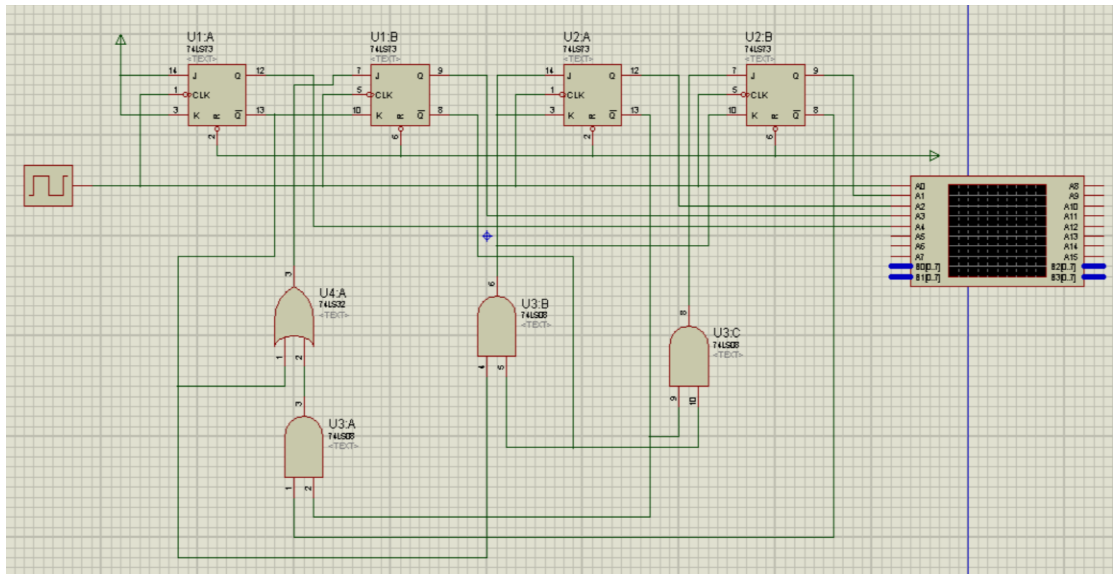
(5) 检查自启动，检查结果如下图所示，根据上述 Q3、Q2、Q1、Q0 次态卡诺图的化简确定 Q3Q2Q1Q0 次态卡诺图中所有不确定项（即 0000、1011、1100、1101、1110、1111 状态的次态），从而确认 J-K 触发器清零以及进入异常计数状态后如何重新开始计数，即实现计数器的自启动。如果检查发现电路不能实现异常计数状态的自启动，则应该修改电路设计。

$Q_1^n Q_0^n$ $Q_3^n Q_2^n$	00	01	11	10
00	1111	1010	0010	0001
01	0011	0100	0110	0101
11	0011	1100	1110	1101
10	0111	1000	1010	1001

				1110	←	1111	←	0000
				↓				
				1101				
				↓				
				1100				
				↓				
0001	←	0010	←	0011	←	0100	←	0101
↓								↑
1010	→	1001	→	1000	→	0111	→	0110
↑								
1011								

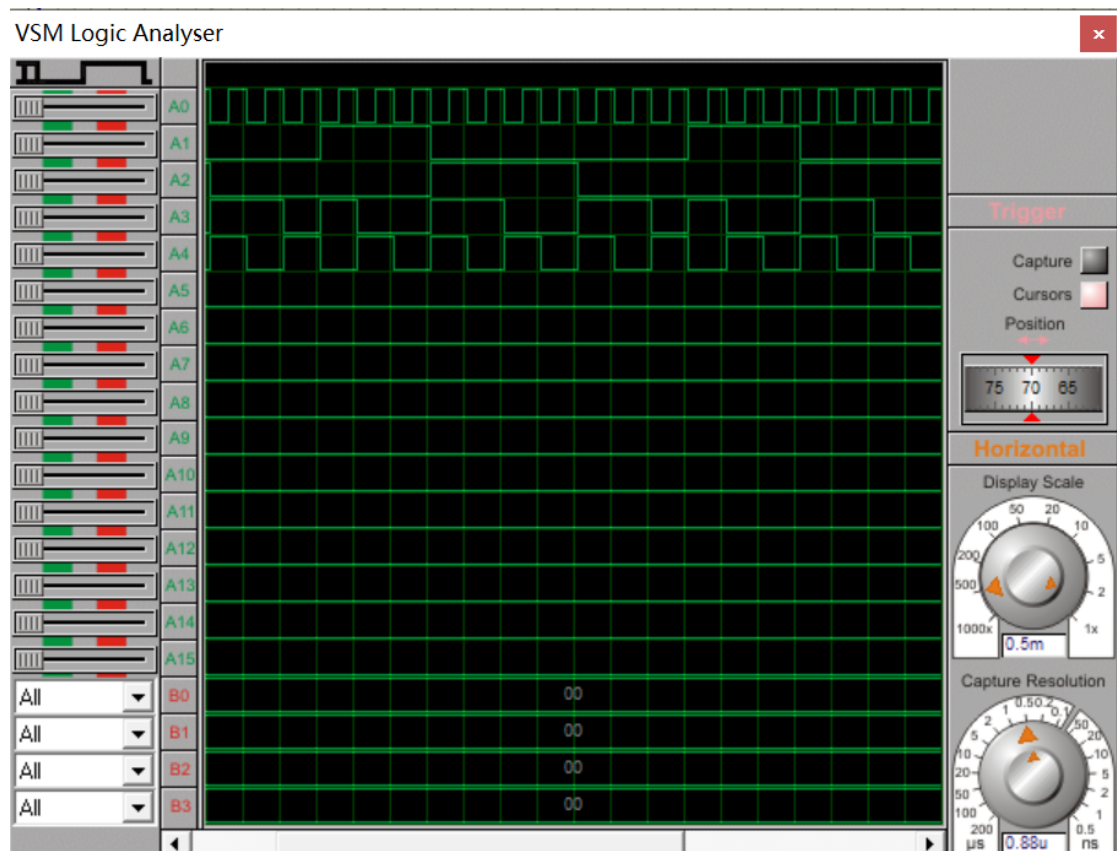
由上面两图可知，对于任意的无效状态 (0000、1011、1100、1101、1110、1111)，最终其都能进入到有效状态的主循环中。所以不需要重新化简卡诺图，即仍然只需用 X 来代表无效状态即可（在保证自启动正确的情况下用 X 来代替无效状态可大幅度减少电路的复杂度）。

所以电路仿真如下图所示：



## 四、实验结果

逻辑分析仪的 A0-A4 分别表示 CLOCK、Q3、Q2、Q1、Q0，仿真结果如下图所示：



经对比，该波形图正确，所以电路仿真成功。

## 五、实验总结与心得

通过这次实验我掌握了同步计数器的运行原理,同时也懂得了如何去自行构造出一个同步计数器。即先画出状态转移图,再画出其次态卡诺图,将卡诺图化简后与 JK 触发器的特征方程对比即可得到相应的电路表达式。

在化简卡诺图之前,也有一定的技巧可使最终表达式更加简单:将无效状态均用 X 来代替。但是这样做却无法保证整个电路的自启动是否正确,所以我们最后需要单独检验电路的自启动。如果检查发现电路不能实现异常计数状态的自启动,则我们应该修改电路设计。