

# 数字电路试验 lab9

19 级计算机类 8 班

18324034

林天皓

2020 年 7 月 6 日至 2020 年 7 月 13 日

## 实验内容

### 实验内容

- 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。

$$\begin{array}{ccccccc} 0001 & \leftarrow & 0010 & \leftarrow & 0011 & \leftarrow & 0100 & \leftarrow & 0101 \\ \downarrow & & & & & & & & \uparrow \\ 1010 & \rightarrow & 1001 & \rightarrow & 1000 & \rightarrow & 0111 & \rightarrow & 0110 \end{array}$$

- 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。

## 实验原理

根据要实现的特殊十进制计数器状态转换图，分别列出 Q3, Q2, Q1, Q0 所对应的卡诺图，对于图中的无关项，合理选择一些无关项作为 1，通过卡诺图的化简方法分别取得 Q3, Q2, Q1, Q0 化简后的时序逻辑表达式，再根据 J-K 触发器的逻辑状态转移方程，对于 Q3, Q2, Q1, Q0 中的每一项，根据化简后的时序逻辑表达式选取对应的项连接进入 J, K 输入端，组合而成时序电路，最后检查自启动电路，是否 6 个无关项作为起点也能够成功进入十进制计数器的循环，而没有在这 6 个无关项中产生环路。如果检查自启动不通过，则需要重新修改对于无关项的赋值，重复以上的过程，使得电路成功的通过自启动检查，并最终验证电路的功能，完成电路的设计。

## 实验设计

先根据所需要实现的状态画出计数器 Q3, Q2, Q1, Q0 的卡诺图。

$Q_3Q_2 \backslash Q_1Q_0$	00	01	11	10
00	X	0011	X	0111
01	1010	0100	X	1000
11	0010	0110	X	X
10	0001	0101	X	1001

图 1-整体目标时序电路卡诺图

根据 J-K 触发器的状态转移方程

$$Q_{n+1} = J \overline{Q_n} + \overline{K} Q_n$$

下面根据上图分解得到每一位的独立卡诺图

### Q3 对应的状态转移卡诺图

$Q_3Q_2 \backslash Q_1Q_0$	00	01	11	10
00	X	0	X	0
01	1	0	X	1
11	0	0	X	X
10	0	0	X	1

图 2-Q3 目标时序电路卡诺图

Q3 对应的状态转移方程（写成类似 J-K 触发器转移方程的形式）

$$\begin{aligned}
 Q_3^+ &= \overline{Q_3}\overline{Q_2}\overline{Q_1} + Q_3Q_0 + Q_3Q_1 \\
 &= \overline{Q_2}\overline{Q_1}Q_3 + \overline{(Q_0 + Q_1)}Q_3
 \end{aligned}$$

图 3-化简 Q3 状态转移表达式

## Q2 对应的状态转移卡诺图

$Q_3Q_2 \backslash Q_1Q_0$	00	01	11	10
00	X	0	X	1
01	0	1	X	0
11	0	1	X	X
10	0	1	X	0

图 4-Q2 目标时序电路卡诺图

Q2 对应的状态转移方程（写成类似 J-K 触发器转移方程的形式）

$$\begin{aligned}
 Q_2^+ &= Q_1Q_2 + Q_2\overline{Q_1}Q_0 + \overline{Q_2}\overline{Q_1}\overline{Q_0} \\
 &= (Q_1 + Q_0\overline{Q_1})Q_2 + \overline{\overline{Q_1}\overline{Q_0}}\overline{Q_2}
 \end{aligned}$$

图 5-化简 Q2 状态转移表达式

## Q1 对应的状态转移卡诺图

$Q_3Q_2 \backslash Q_1Q_0$	00	01	11	10
00	X	1	X	1
01	1	0	X	0
11	1	1	X	X
10	0	0	X	0

图 6-Q1 目标时序电路卡诺图

Q1 对应的状态转移方程（写成类似 J-K 触发器转移方程的形式）

$$\begin{aligned}
 Q_1^+ &= Q_1Q_0 + \bar{Q}_1Q_0 + \bar{Q}_3\bar{Q}_2\bar{Q}_1 \\
 &= Q_0Q_1 + \overline{(\bar{Q}_0 + \bar{Q}_3\bar{Q}_2)}\bar{Q}_1
 \end{aligned}$$

图 7-化简 Q1 状态转移表达式

## Q0 对应的状态转移卡诺图

$Q_3Q_2 \backslash Q_1Q_0$	00	01	11	10
00	X	1	X	1
01	0	0	X	0
11	0	0	X	X
10	1	1	X	1

图 8-Q0 目标时序电路卡诺图

Q0 对应的状态转移方程（写成类似 J-K 触发器转移方程的形式）

$$\begin{aligned}
 Q_0^+ &= Q_1\overline{Q_0} + \overline{Q_1}Q_0 \\
 &= (Q_1 + \overline{Q_1})\overline{Q_0} + \overline{0}Q_0 \\
 &= (Q_1 + \overline{Q_1})\overline{Q_0} + 1Q_0 \\
 &= 1\overline{Q_0} + 1Q_0
 \end{aligned}$$

图 9-化简 Q0 状态转移表达式

经过补充的完整 Q3, Q2, Q1, Q0 卡诺图为

$Q_3Q_2 \backslash Q_1Q_0$	00	01	11	10
00	1111	0011	0011	0111
01	1010	0100	1100	1000
11	0010	0110	1110	1100
10	0001	0101	1101	1001

图 10-补充后目标时序电路卡诺图

检查自启动过程

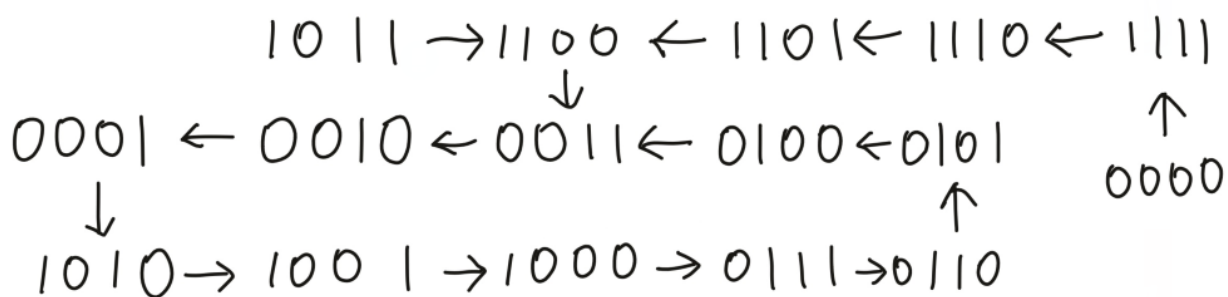


图 11-整体状态转移图

分析：把上图作状态转移图，可见不论初始状态如何，经过最多 6 步即可进入特殊十进制计数器的循环过程中，检查自启动通过。

综上，该状态设计检验通过。

根据上述状态转移方程搭建时序逻辑电路

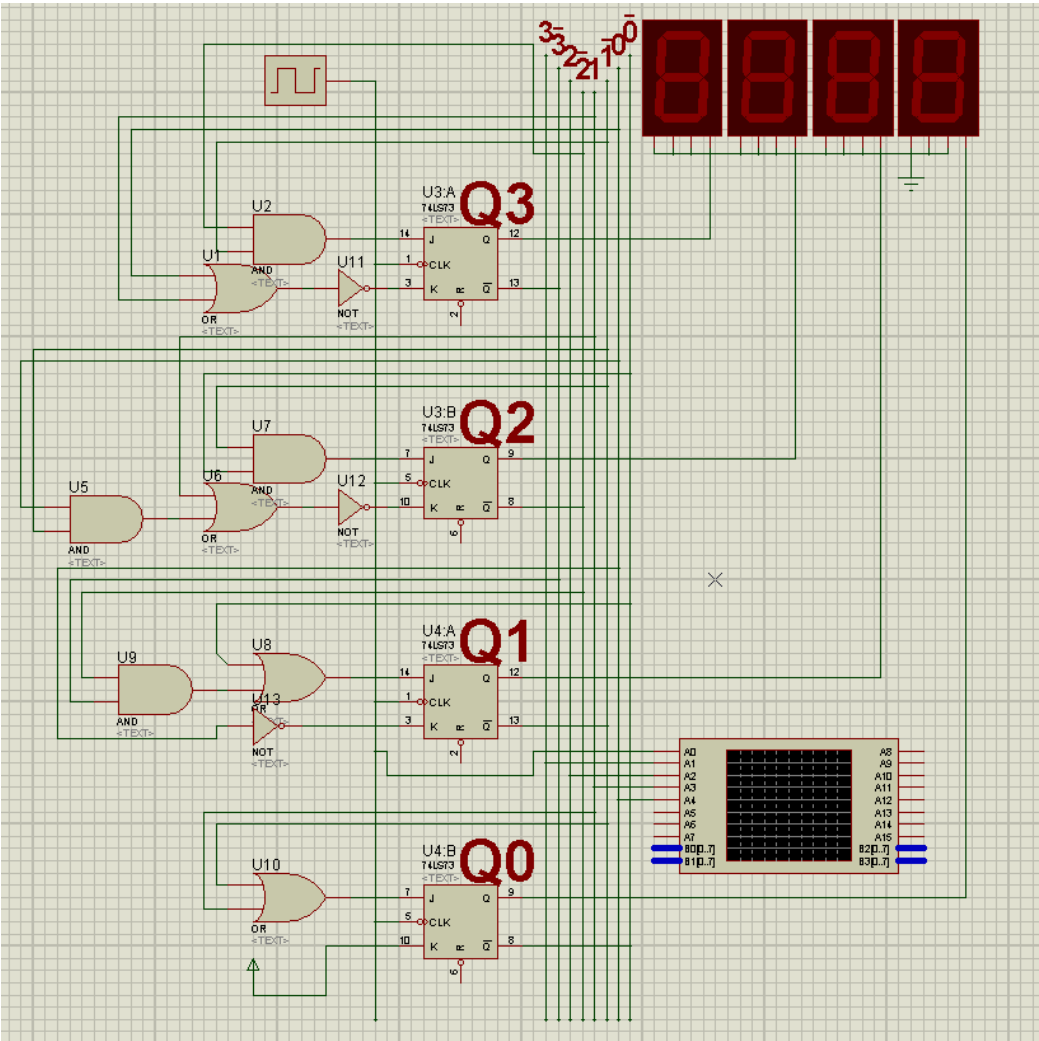


图 12-整体时序逻辑电路设计

按照上文中各个位的逻辑状态转移方程，按照 J-K 触发器的状态转移表，根据情况使用门电路组合连接而成下图，从上到下的 4 个 J-K 触发器分别对应 Q3,Q2,Q1,Q0 四位数字，同时为了直观地暂时各个 J-K 触发器对应的状态，在右边直接使用了 4 个数码管来展示 4 个 J-K 触发器的状态。同时，按照题目要求还要观察并记录脉冲信号与 Q3,Q2,Q1,Q0 的输出波形，于是右方放置逻辑分析仪，A0,A1,A2,A3,A4 分别连接到脉冲信号，Q3,Q2,Q1,Q0。



## 实验结果、分析、结论

### 第一部分 自启动过程

从 Q3, Q2, Q1, Q0 都为 0 开始，时钟信号频率 1Hz。

自启动过程：t=0.3s

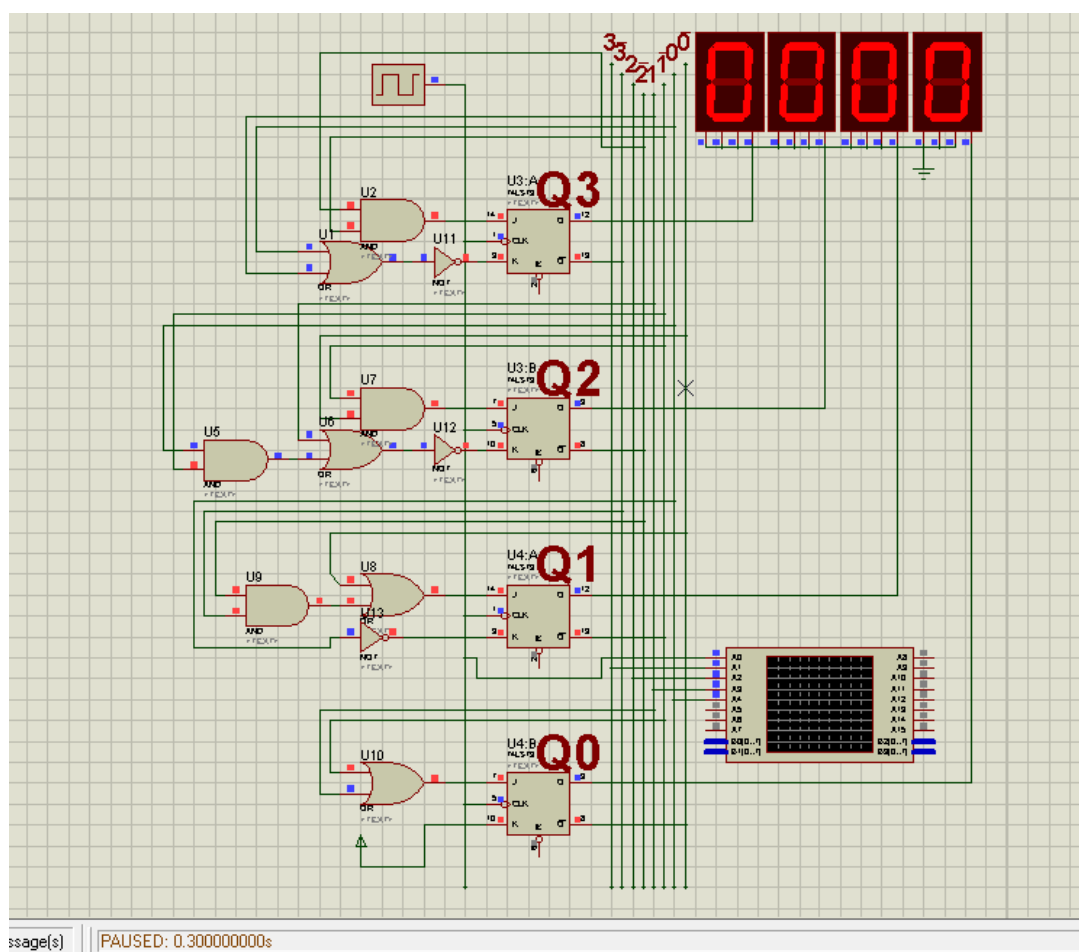


图 13-自启动初始状态

分析：自启动初始状态，Q3, Q2, Q1, Q0 都为 0。

自启动第二状态：t=1.3s

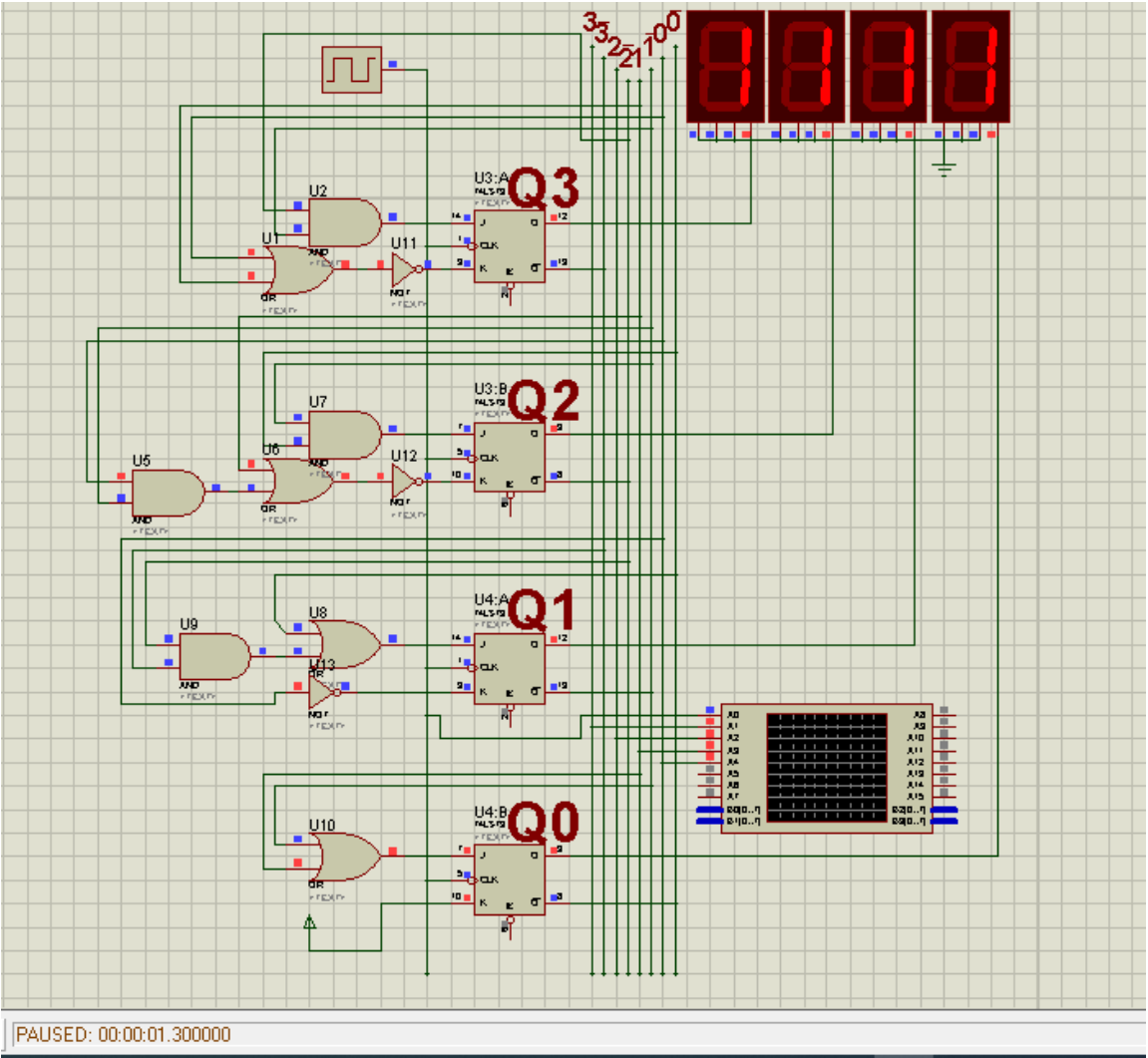


图 14-自启动第二状态

分析：自启动第二状态，Q3,Q2,Q1,Q0 分别为 1，1，1，1。

自启动第三状态:  $t=2.4s$

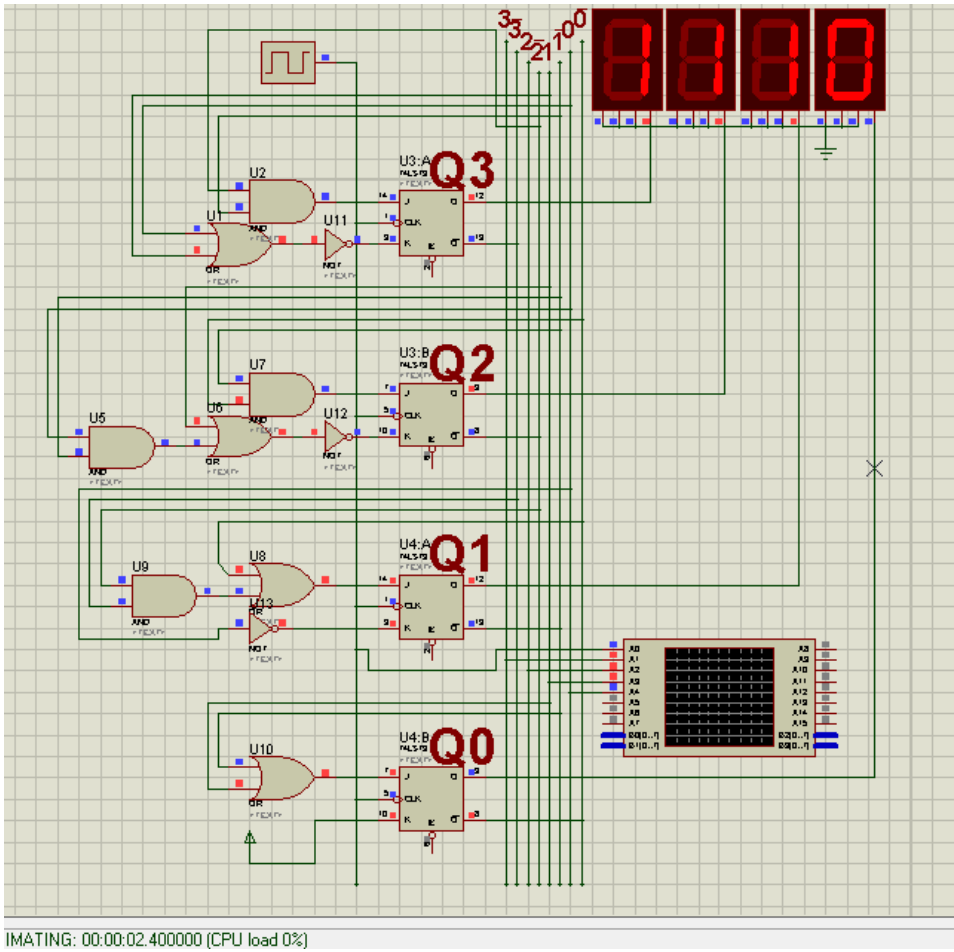


图 15-自启动第三状态

分析：自启动第三状态，Q3, Q2, Q1, Q0 分别为 1, 1, 1, 0。

自启动第四状态：t=3.4s

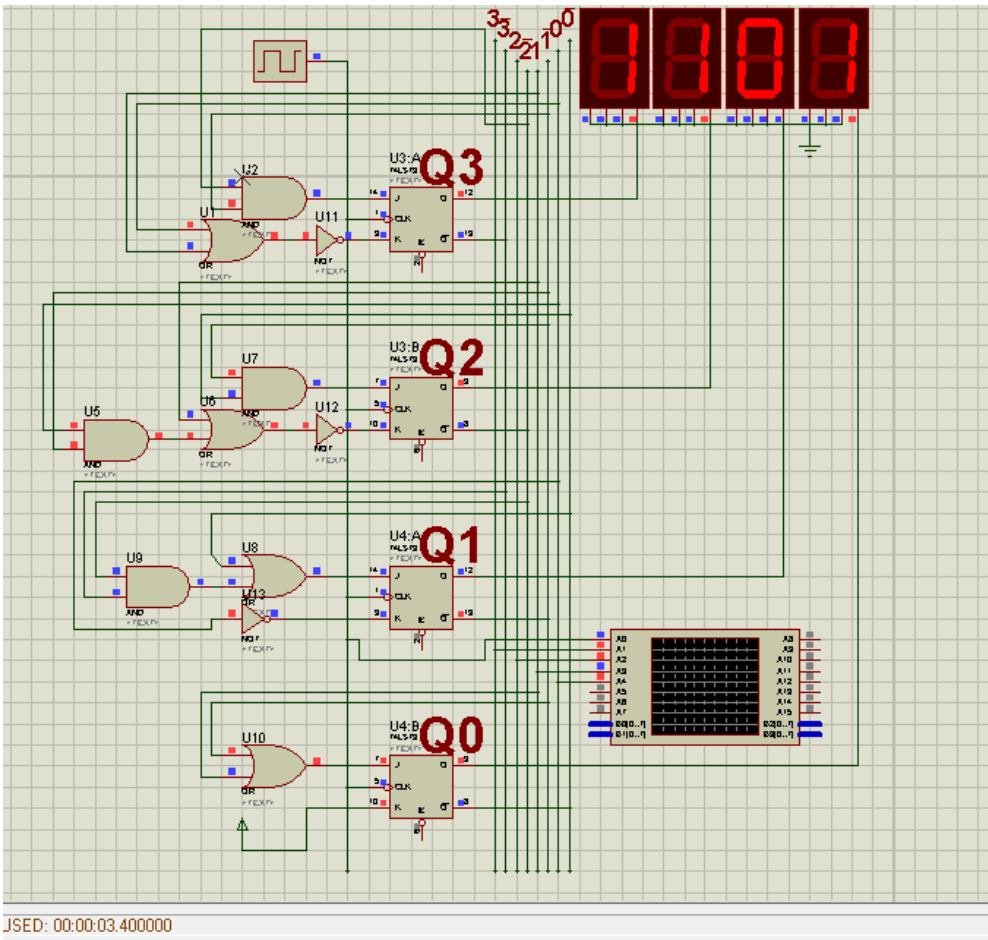


图 16-自启动第四状态

分析：自启动第四状态，Q3,Q2,Q1,Q0 分别为 1，1，0，1。

自启动第五状态：t=4.4s

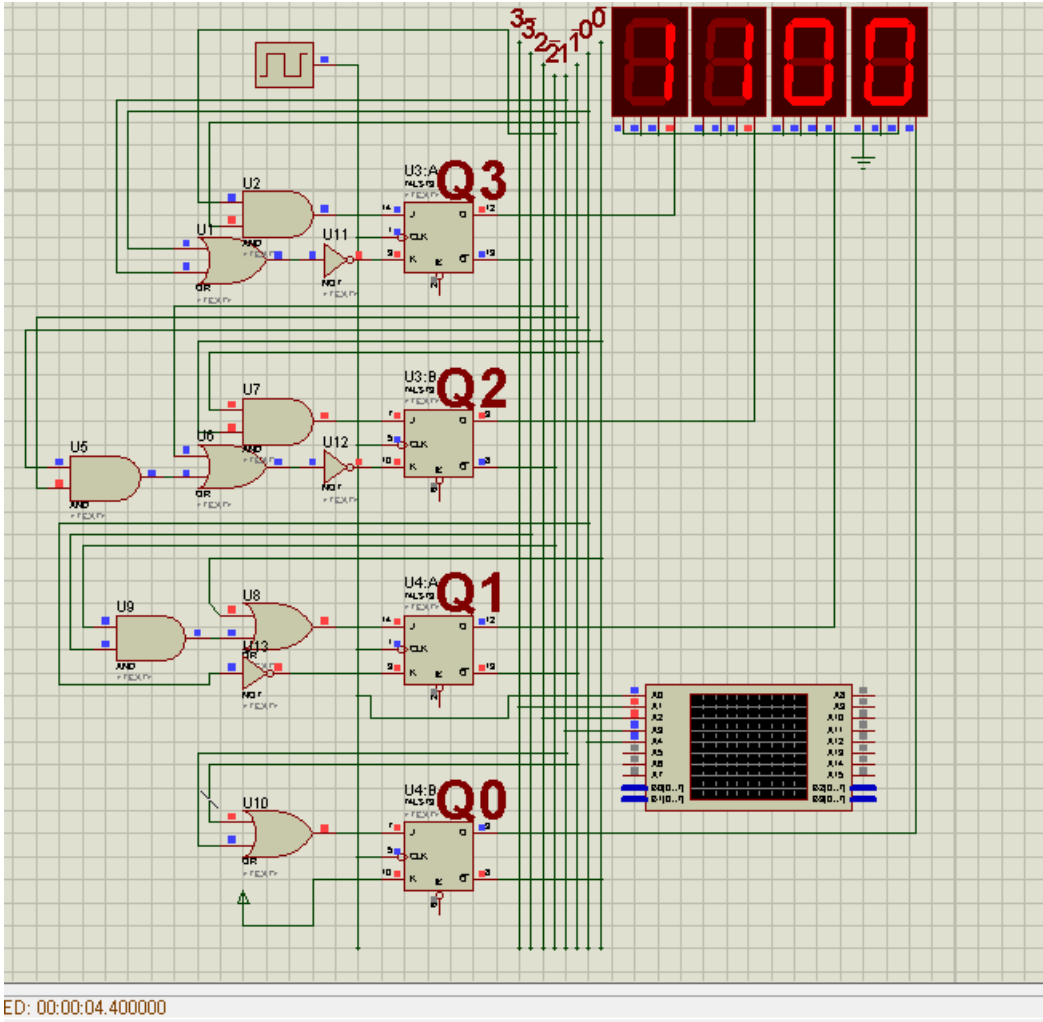


图 17-自启动第五状态

分析：自启动第五状态，Q3,Q2,Q1,Q0 分别为 1，1，0，0。

自启动第六状态：t=5.45s

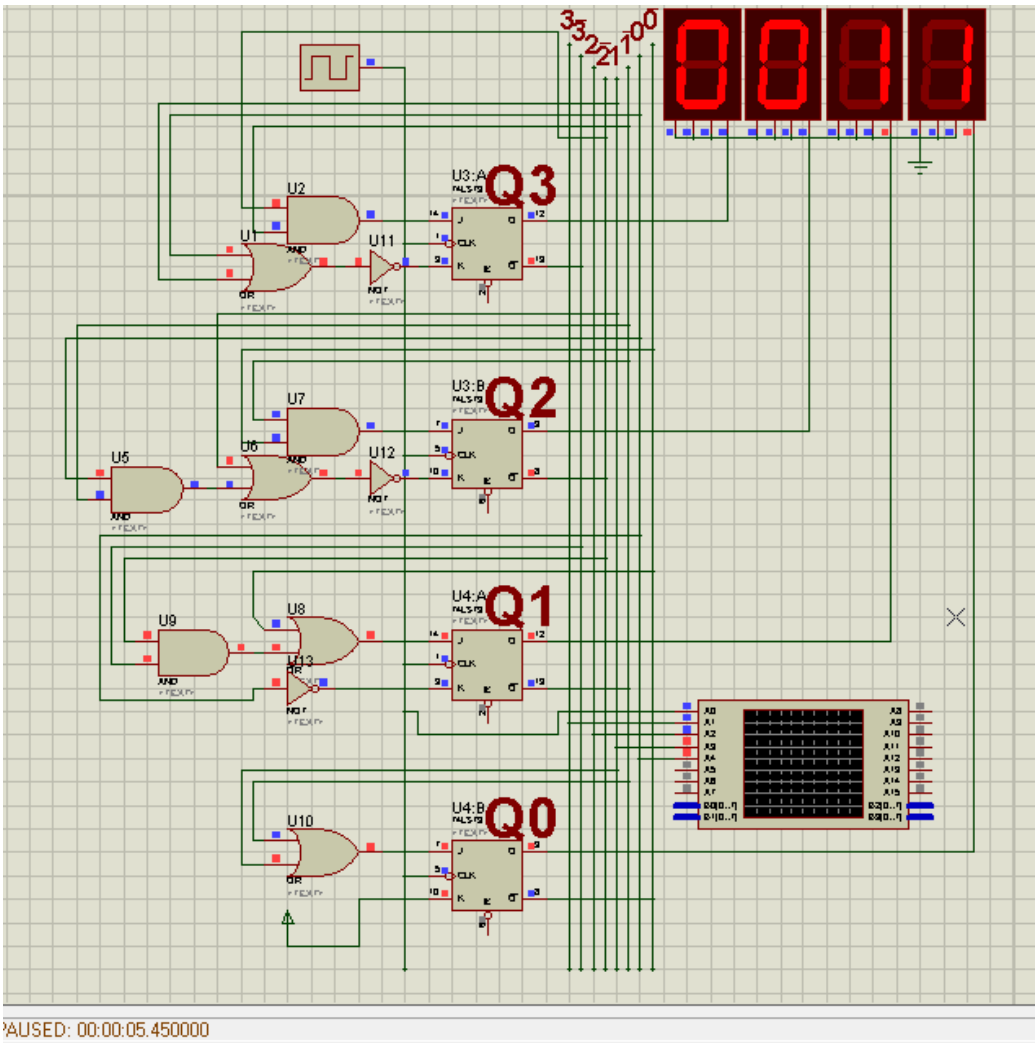


图 18-自启动第六状态

分析：自启动第六状态，Q3,Q2,Q1,Q0 分别为 0，0，1，1。

此时已经进入特殊十进制计数器的主循环，自启动过程结束。

完整自启动过程波形图

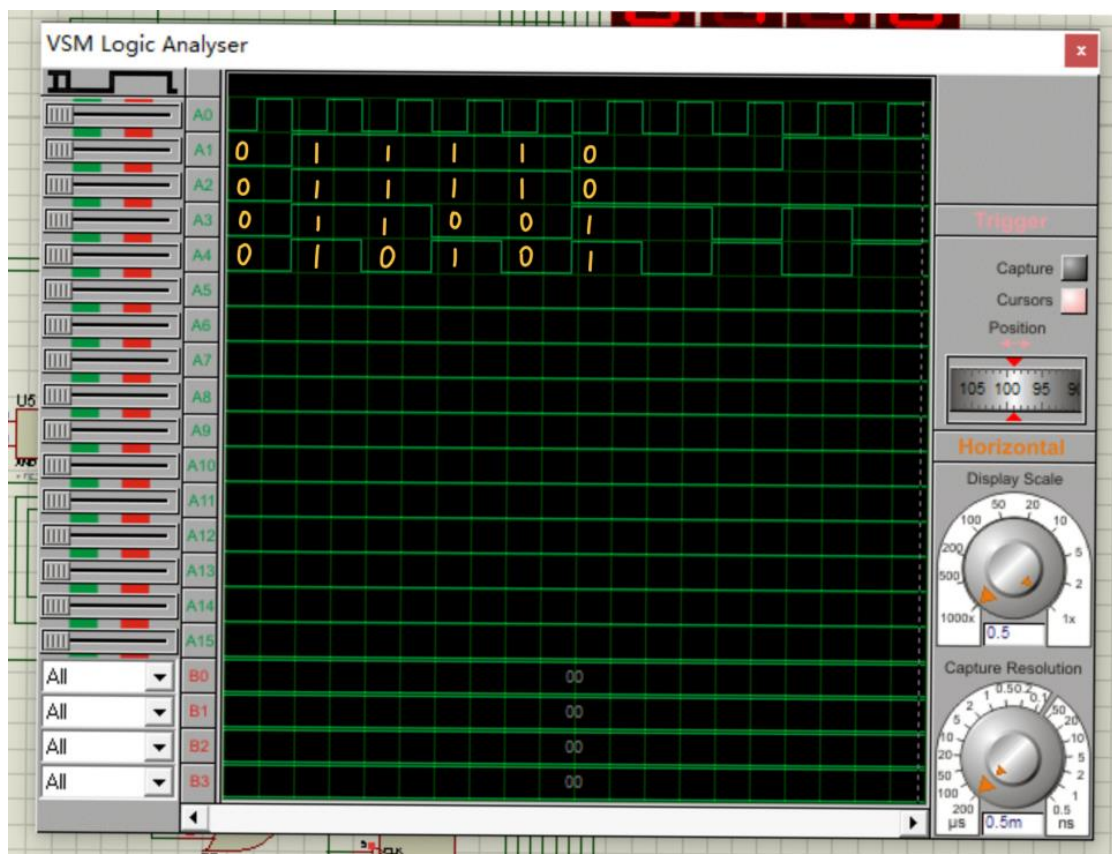


图 19-自启动过程示波器

分析：自启动过程与逻辑状态转移图一致，达到预期功能

综上：在自启动过程中，电路功能良好，符合预期，在第六个状态之后成功进入特殊十进制计数器的主循环，启动部分完成了设计的功能。

## 第二部分 主循环部分

由于主循环有 10 个，因此在这里只暂时完成一轮循环后重置的两个状态，完整的状态转换过程可通过下文中的波形图验证正确性。

由于 0000 开始的启动后，电路状态在十进制的循环中会首先进入 0011 的状态，因此，我将 0011 视为特殊十进制计数器的起点，下文仅仅暂时由 0100 重新状态转移成为 0011 的过程。

T=15:00 时候，即将回到循环起点

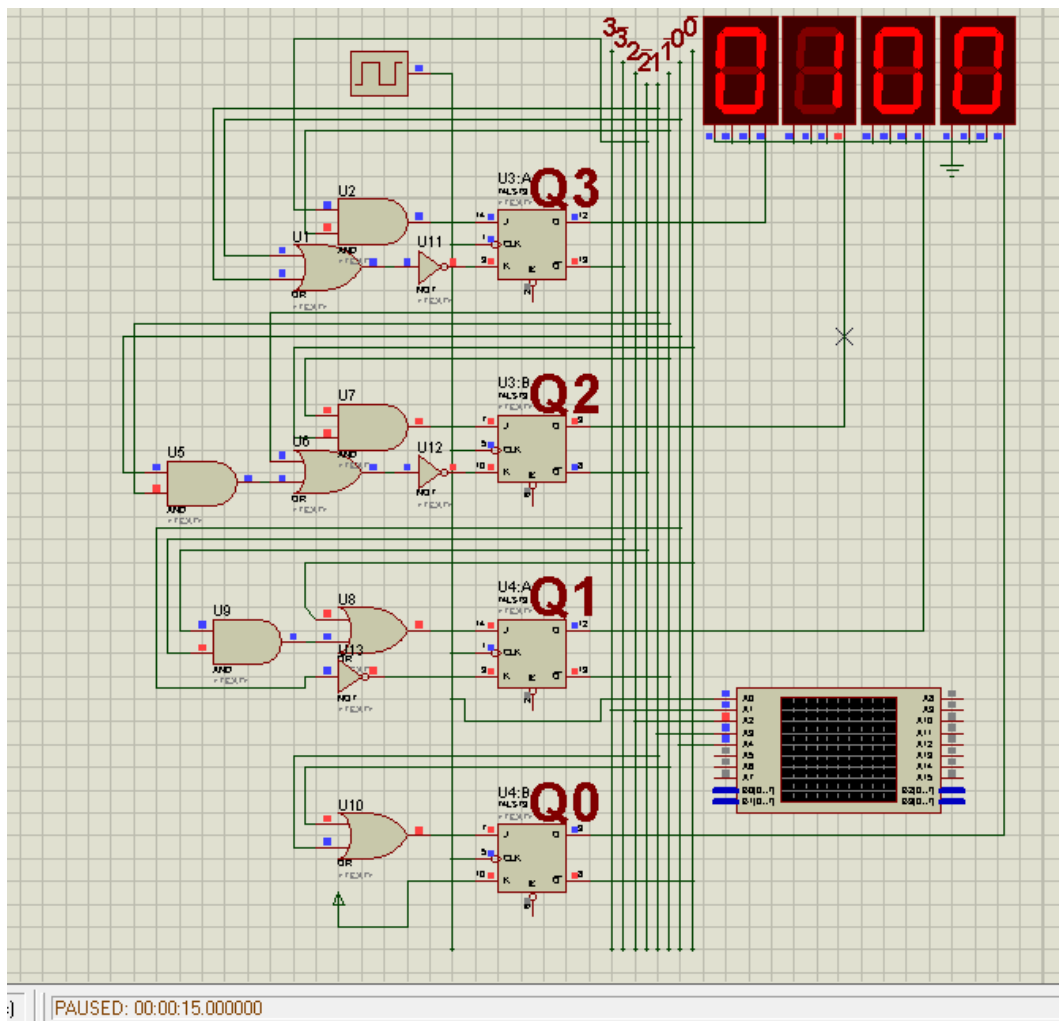


图 20-循环回到起点前状态

分析：Q3,Q2,Q1,Q0 分别为 0, 1, 0, 0，为转换为 0011 的上一个状态。

T=15.65s 此时完成循环部分电路重新回到起点的过程。



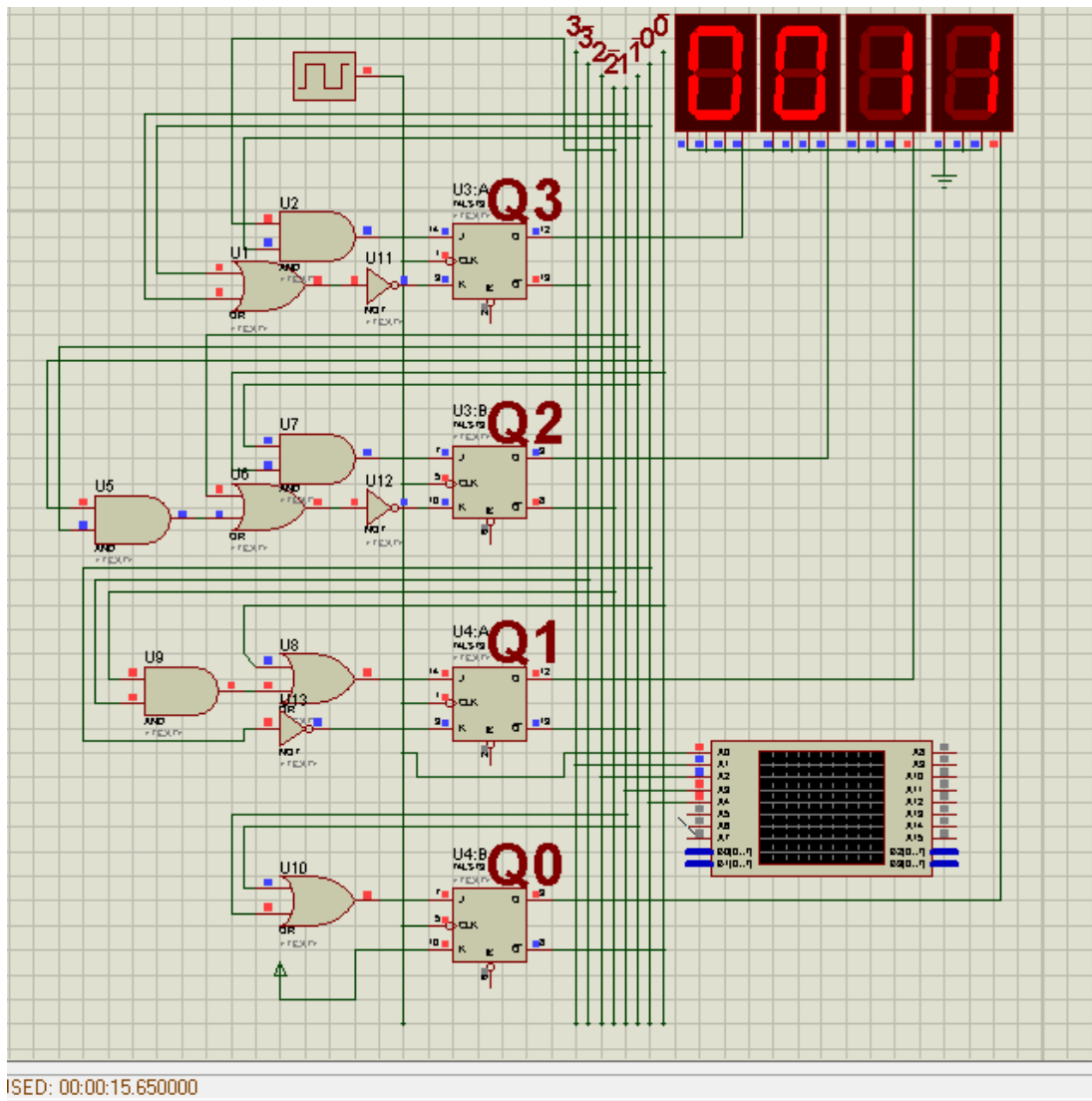


图 21-循环回到起点状态

分析：Q3,Q2,Q1,Q0 分别为 0，0，1，1，电路重新回到循环的起点，完成了整个十进制计数器的循环过程。

完整波形图分析

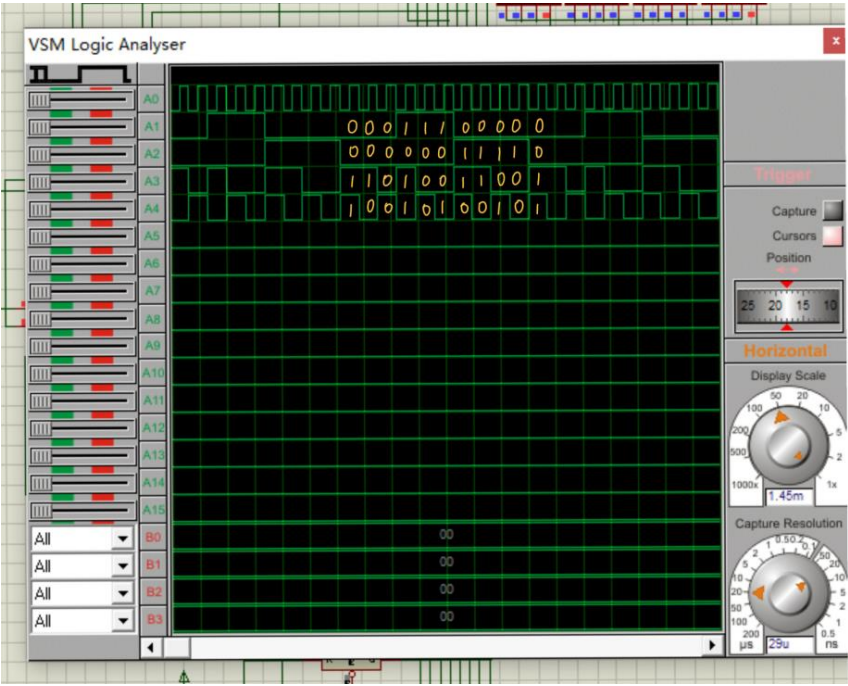


图 22-一整个循环波形图

分析：完整一个周期的示波器波形图，时序逻辑功能正确，从左右两边的波形可以看出，循环功能正确。

综上，该电路特殊十进制计数器循环功能正确，且自启动检查通过，达到了所需要实现的功能。

实验心得

本次实验从 J-K 触发器的基本状态转移方程的推倒过程出发，了解了特殊十进制计数器的设计方法并实现，在此实现过程中，同样遇到了一些粗心导致的错误，找到了一些错误排除的方法。

在下列有错误的电路中

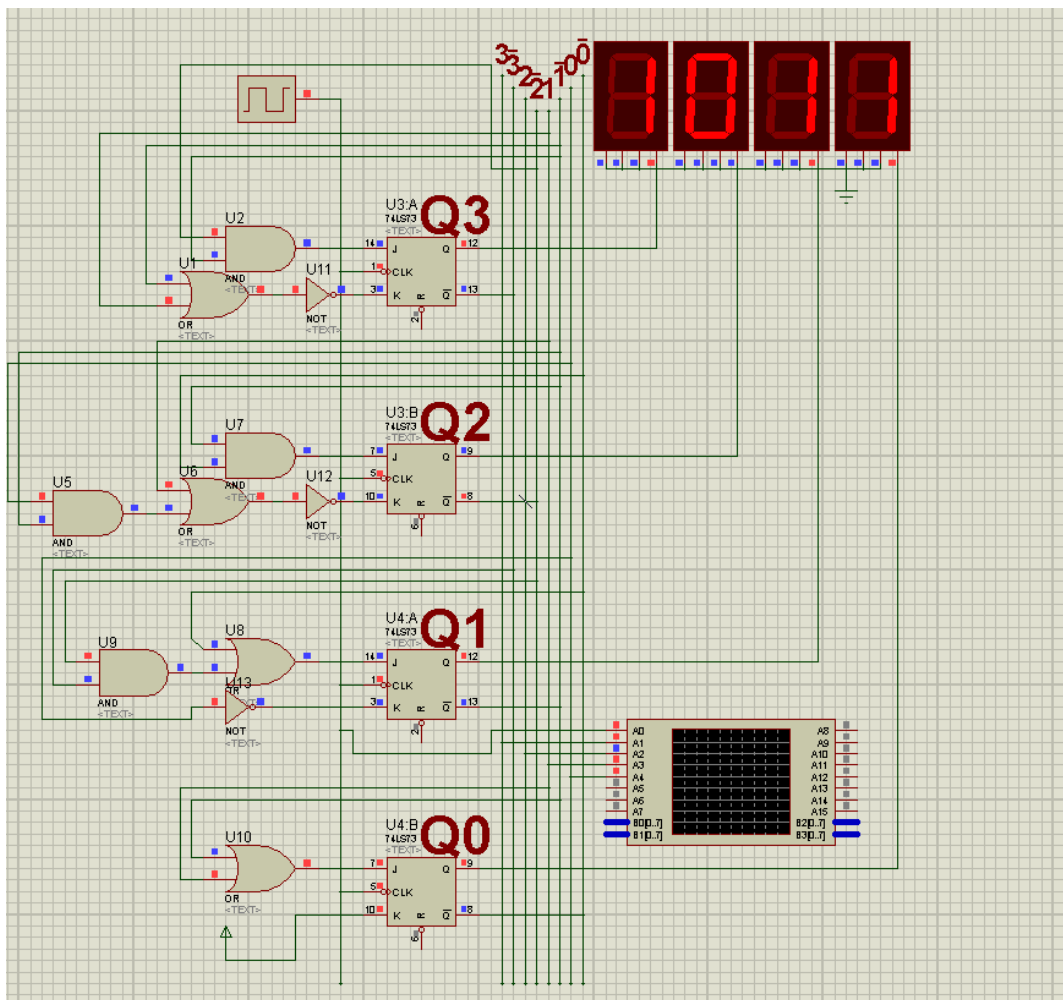


图 23-有错误的电路

为了找到该电路中的错误，可以从电路的开头开始，找到第一个与预期状态转移不相符合的状态，在这里是 1011 这个状态，本来从 1100 转移后的状态应该为 0011，但是出现了错误，通过对比正确转移后的状态和改变后的错误改变的状态，发现只有 Q3 这一位不同。因此，我们可以确定 Q3 的连线出现了差错。

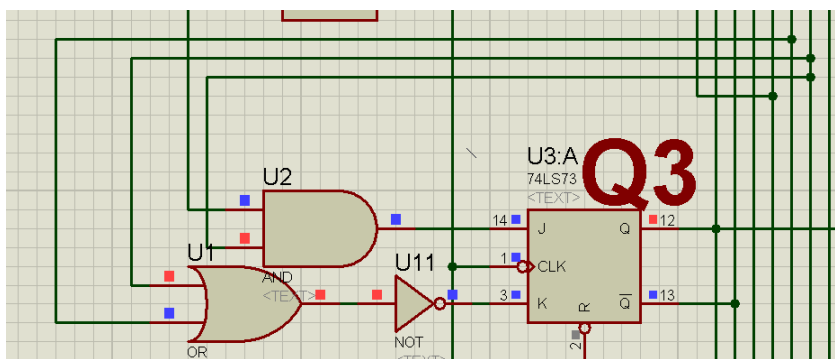


图 24-具体错误

通过对比，是该部分或门上部分本来应该连接 Q0 的部分错误的连接到了 Q1 反上，改变这个连接错误以后，错误排除。

通过这种错误定位的方法，我们能快速找到并且改正错误，完成了电路设计。

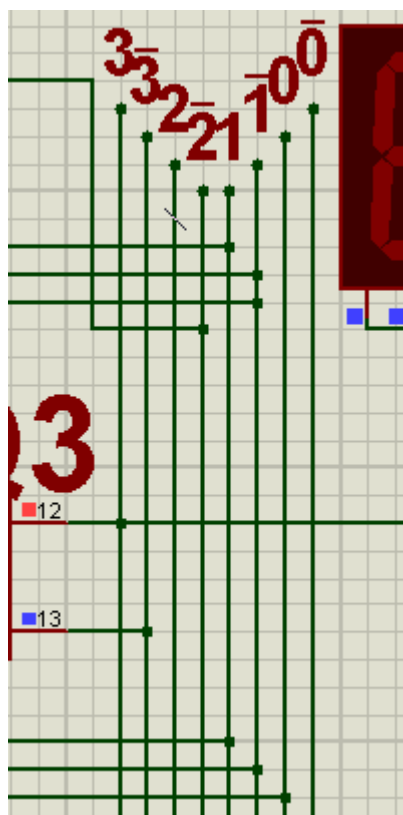


图 25-贯穿整个电路图的使用频率高的电路

同时，在设计过程中，把需要 Q0, Q1, Q2, Q3 与时钟信号这样重复频率很高的线路贯穿整个电路，使得这些电路的连接方式变的更加简单，可以大大减轻布线的难度，快速完成设计。