

JZD—1型和768数字测氦仪计数电路 的分析和改进设计

郭善义 韩友珍

(国家地震局兰州地震研究所)

李辛是

(兰州大学)

摘 要

本文介绍了触发器跳变方程法[1]在计数电路设计中的具体应用。在数字测氦仪研制过程中,我们应用这种方法对水氦仪研制初期的计数电路进行了分析,指出了存在的问题并进行了电路改进,设计了一种稳定、可靠而又简单的串行计数电路。

一、问题提出

计数器是一种具有循环网络的自动迁移的时序电路,可按一定规律将输入脉冲的个数记录下来,是数字化仪器的主要部件。在数字化测氦仪中除探头、程序控制器外,其余电路都要用到。因此,对计数器的正确设计在水氦仪的研制过程中就显得很重要了。

但是,数字电路的逻辑设计目前还正在迅速发展。对并行电路的设计和分析方法都比较成熟,而对串行电路则常用近似的波形分析法。在开始研制测氦仪时,我们就用这种波形法设计了图1所示的串行二—十进制计数器。对该计数器用波形图法分析,逻辑功能是正确的,进行单元实验时,也证明电路是可用的。但在联机调试时却发现有时计数只在4~5或6~7中反复,正常的逻辑功能被破坏了。分析认为乃是由于电路中未排除竞争,冒险而存在两个死循环,破坏了应有的逻辑关系。试用文献[1]介绍的方法对该电路进行逻辑分析,证实了原电路的问题所在,并进行了改进设计,得到了可靠、稳定的电路。

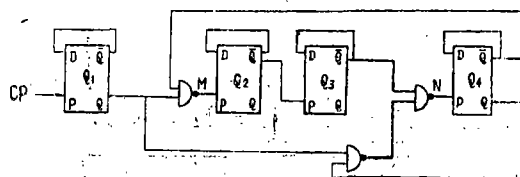


图 1

二、方法简介及其应用

在触发器的跳变特征中,采用符号 1 、 $\overline{1}$ 、 0 、 $\overline{0}$ 来表示跳变状态。符号顶部标记表示原状态,下部表示次态。当无跳变时,真值为 0 ,有跳变时,真值为 1 。

1. D触发器跳变方程

在串行计数电路中,虽然时钟脉冲指挥着系统的动作,但它却不一定直接触发所有的触发器,而有一些触发器则可能是由其他触发器的输出来触发。这样,系统内的触发器的触发输入不再是一个常量。对所使用的 D 触发器来说,如果各触发器的触发输入看作逻辑变化 P ,根据 D 触发器的状态转移表(表 1)可得出它的特征方程为:

表 1

P	D	Q	Q
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

$$Q' = PD + \overline{P}Q \quad (1)$$

在触发输入 P 的作用下,触发器的输出端将发生跳变。若定义触发器输入状态的跳变函数 q 为上、下跳变的逻辑和,即 $q = Q\overline{Q}' + \overline{Q}Q'$,将(1)式代入即得出 D 触发器的输出跳变方程为:

$$q = P(D\overline{Q} + \overline{D}Q) \quad (2)$$

在此方程中,将 q 和 Q 作为自变量,在 P 为 1 的条件下,求出 q 和 Q 为各种可能值时相应的 D 所有的可能值,只考虑 D 为 1 的跳变符号,排除 D 为 0 的跳变符号,而对使 D 为任意值的跳变作任意处理,则可得到 D 触发器(D 作为控制输入端)的使用约束条件,即: $P = 1$ 时包含 1 、 $\overline{1}$,排除 0 、 $\overline{0}$ 、 x ;而 $P = 0$ 时,包含 0 、 $\overline{1}$ 、 x 。对于给定的逻辑问题,只要确定了触发输入 P ,就可在 q 的卡诺图中一次求出控制输入方程。

2. 用跳变方程法对图 1 电路的分析

对图 1 中的四个触发器可写出下列方程:

$$P_1 = 1 \quad Q'_1 = \overline{Q}_1$$

$$P_2 = \overline{MM}' = Q_1 \overline{Q}_4 \cdot \overline{Q'_1 \overline{Q}_4} = Q_1 \overline{Q}_4 \cdot \overline{\overline{Q}_1 \overline{Q}_4} = Q_1 \overline{Q}_4$$

$$q_2 = P_2 (D_2 \overline{Q}_2 + \overline{D}_2 Q_2) = P_2 = Q_1 \overline{Q}_4$$

$$\begin{aligned} Q'_2 &= P_2 D_2 + \overline{P}_2 Q_2 = Q_1 \overline{Q}_4 \overline{Q}_2 + \overline{Q_1 \overline{Q}_4} Q_2 \\ &= Q_1 \overline{Q}_2 \overline{Q}_4 + \overline{Q}_1 Q_2 + Q_2 Q_4 \end{aligned}$$

$$P_3 = q_2 Q_2 = Q_1 Q_2 \overline{Q}_4$$

$$q_3 = P_3 (D_3 \overline{Q}_3 + \overline{D}_3 Q_3) = Q_1 Q_2 \overline{Q}_4$$

$$\begin{aligned} Q'_3 &= P_3 D_3 + \overline{P}_3 Q_3 = Q_1 Q_2 \overline{Q}_3 \overline{Q}_4 + \overline{Q_1 Q_2 \overline{Q}_3 \overline{Q}_4} Q_3 \\ &= (\overline{Q}_1 + \overline{Q}_2 + Q_4) Q_3 + Q_1 Q_2 \overline{Q}_3 \overline{Q}_4 \end{aligned}$$

$$P_4 = \overline{NN}' = \overline{Q_1 \overline{Q}_4 \cdot \overline{Q}_3 \cdot \overline{Q'_1 \overline{Q}_4} \cdot \overline{Q'_3}}$$

$$= (Q_1 Q_4 + Q_3) \cdot (Q_1 + \overline{Q}_4) \cdot \overline{Q_1 Q_2 \overline{Q}_3 \overline{Q}_4} \cdot (\overline{Q}_1 + \overline{Q}_2 + Q_4) Q_3$$

$$= Q_1 Q_2 Q_3 \bar{Q}_4 + Q_1 \bar{Q}_3 Q_4$$

上式中:

$$N = \bar{Q}_1 Q_4 \cdot \bar{Q}_3$$

$$N' = \bar{Q}_1 Q_4 \cdot \bar{Q}_3$$

$$= \bar{Q}_1 Q_4 [Q_1 Q_2 \bar{Q}_3 \bar{Q}_4 + (\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2 + Q_4) Q_3]$$

$$Q_4' = P_4 D_4 + \bar{P}_4 Q_4 = Q_1 Q_2 Q_3 \bar{Q}_4 + \bar{Q}_1 Q_4 + \bar{Q}_2 Q_3 Q_4 + Q_3 Q_4$$

$$= Q_1 Q_2 Q_3 \bar{Q}_4 + \bar{Q}_1 Q_4 + Q_3 Q_4$$

根据以上方程画出 Q_4' 的卡诺图如下:

	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
Q_1	1	1	1	1
Q_2	0	0	0	0
Q_3	0	0	0	0
Q_4	1	1	1	1

据 Q_4' 卡诺图画出状态转移表(表2)和状态流程图(图2)如下:

表 2

D 触 发 器 原 态					D 触 发 器 次 态				
Q ₄	Q ₃	Q ₂	Q ₁		Q' ₄	Q' ₃	Q' ₂	Q' ₁	
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0	2
2	0	0	1	0	0	0	1	1	3
3	0	0	1	1	0	1	0	0	4
4	0	1	0	0	0	1	0	1	5
5	0	1	0	1	0	1	1	0	6
6	0	1	1	0	0	1	1	1	7
7	0	1	1	1	1	0	0	0	8
8	1	0	0	0	1	0	0	1	9
9	1	0	0	1	0	0	0	0	0
10	1	0	1	0	1	0	1	1	11
11	1	0	1	1 →	0	0	1	0	2
12	1	1	0	0	1	1	0	1	13 ⁵
13	1	1	0	1	1	1	0	0	12 ⁵
14	1	1	1	0 →	1	1	1	1	15 ⁵
15	1	1	1	1	1	1	1	0	14 ⁵

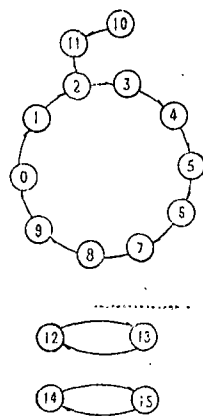


图 2

从而可见在主循环 $0 \leftrightarrow 9$ 之外, 还有两个死循环 $12 \rightleftharpoons 13$ 和 $14 \rightleftharpoons 15$ 。因为所用译码器是BCD译码, 12、13对应的显示数是4和5, 而14、15对应的显示数是6和7。一旦某种干扰进入这两个死循环, 就会破坏正常的逻辑关系而重复显示4、5或6、7, 这与实际情况一致。可见图1所示电路是不可靠的。

3. 对图1电路的改进设计

如果丢开图1电路重新设计方法上是可行的(我们作过设计), 但在当时因受到印刷电路板加工时间和器件的限制, 只能设法在原电路上作一些小的改进, 使死循环变“活”, 而

具有自启动的性能。也就是说要设法把 $12 \rightleftharpoons 13$ 和 $14 \rightleftharpoons 15$ 两个死循环破坏掉,使其能主动返回主循环。根据经验试探,把 $13 \rightarrow 12$ 的箭头改画到4,把 $15 \rightarrow 14$ 的箭头改画到8,则电路就具有自启动特性。如再将11改接到4,线路就会更简单。

改动后的状态循环图如图3,再据此写出新的状态转移表(表3):

由新的状态转移表(表3)画出 Q_i 和 q_i 的卡诺图(特征方程 Q_i 和跳变方程 q_i 之间的差别仅在于 Q 的系数互补)如下:

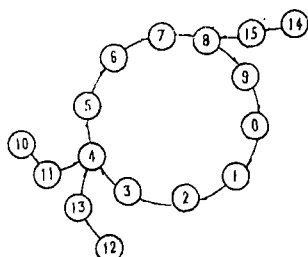
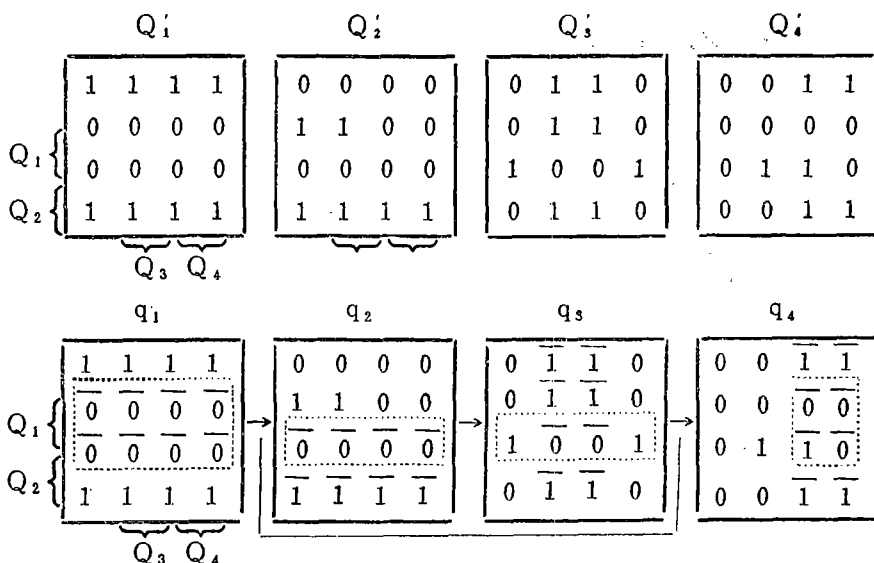


图 3

表 3

	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	$Q'_4 Q'_3 Q'_2 Q'_1$	
0	0	0	0	0	0 0 0 1	1
1	0	0	0	1	0 0 1 0	2
2	0	0	1	0	0 0 1 1	3
3	0	0	1	1	0 1 0 0	4
4	0	1	0	0	0 1 0 1	5
5	0	1	0	1	0 1 1 0	6
6	0	1	1	0	0 1 1 1	7
7	0	1	1	1	1 0 0 0	8
8	1	0	0	0	1 0 0 1	9
9	1	0	0	1	0 0 0 0	0
10	1	0	1	0	1 0 1 1	11
11	1	0	1	1	0 1 0 0	4
12	1	1	0	0	1 1 0 1	13
13	1	1	0	1	0 1 0 0	4
14	1	1	1	0	1 1 1 1	15
15	1	1	1	1	1 0 0 0	8



根据 q 卡诺图中相应于 q_i 的下跳变画出上图中的虚线框再据各虚线框的复盖情况用箭头连线表示出它们的驱动和被驱动关系,就可得出各触发器的连线方式(如上图实箭头线)。据此直接写出 P_i 的逻辑表达式:

$$\begin{aligned} P_4 &= Q_1 & P_3 &= Q_2 \\ P_2 &= Q_1 & P_1 &= 1 \end{aligned}$$

对于上跳变触发器 D ,又得:

$$\begin{aligned} P_1 &= 1 & P_2 &= \overline{Q_1} \\ P_3 &= \overline{Q_2} & P_4 &= \overline{Q_1} \end{aligned}$$

在q卡诺图中, 虚线框内的格子属于 $P = 1$, 虚线框外的格子属于 $P = 0$ 。由前述约束条件可求出控制输入方程:

$$\begin{aligned} D_1 &= \overline{Q_1} & D_2 &= \overline{Q_2} \overline{Q_4} \\ D_3 &= \overline{Q_3} & D_4 &= Q_2 Q_3 \end{aligned}$$

根据触发器连线图和控制输入方程直接画出逻辑电路图, 如图4:

到此就将图1电路经过变化而改为无死循环的串行十进计数器。从设计程序上讲, 还应进行再分析, 因方法同前不再累述。实验证明此电路是稳定、可靠的。

4. 串行计数电路设计

用跳变方程法设计串行计数器有两种方法^[3], 一种是先确定触发输入P, 然后求出控制输入方程; 另一种则是先确定控制输入方程, 再求触发输入P。

具体设计方法(第一种)是, 根据给定的逻辑问题画出状态流程图, 再写出对应的状态转移表, 由状态转移表画出应用方程(特征方程) Q_i 和跳变方程 q_i 卡诺图, 找出 q_i 卡诺图覆盖情况, 得出连线方式, 据此求出触发输入P。再根据约束条件和 q_i 卡诺图求得控制方程, 最后据触发输入P和控制方程直接得到逻辑电路图。

根据以上设计方法要点, 对前图进行设计验证:

(1) 根据逻辑要求画出图5所示状态流程图(它和图2、3不同, 只有0—9的主循环)。

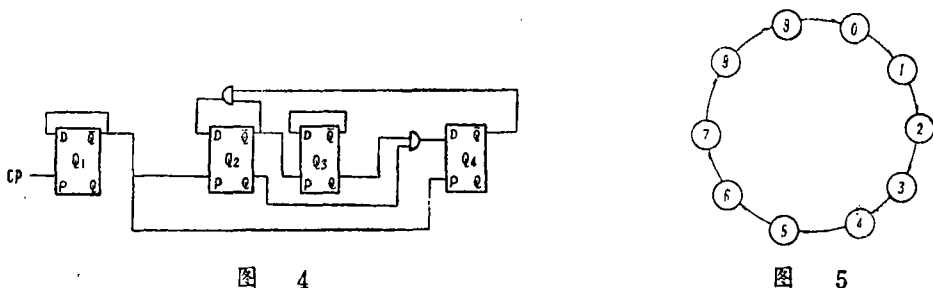


图 4

图 5

(2) 列出表4所示状态转移表(此表与表3不同之处仅在于次态的状态。之后, 由于

	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
Q_1	1 1 × 1	0 0 × 0	0 1 × 0	0 0 × 1
	0 0 × 0	1 1 × 0	0 1 × 0	0 0 × 0
	0 0 × ×	0 0 × ×	1 0 × ×	0 1 × ×
Q_2	1 1 × ×	1 1 × ×	0 1 × ×	0 0 × ×
Q_3	1 1 × ×	1 1 × ×	0 1 × ×	0 0 × ×
Q_4	1 1 × ×	1 1 × ×	0 1 × ×	0 0 × ×

q_1	q_2	q_3	q_4
1 1 × 1	0 0 × 0	0 1 × 0	0 0 × 1
0 0 × 0	1 1 × 0	0 1 × 0	0 0 × 0
0 0 × ×	0 0 × ×	1 0 × ×	0 1 × ×
1 1 × ×	1 1 × ×	0 1 × ×	0 0 × ×

是二十进制计数器, 所以0态以后都以无关项“X”表示)。

(3) 由表4画出 Q_i 和 q_i 的卡诺图, 根据跳变特征, 找出 q 卡诺图中的虚线框及其复盖关系, 画出触发器连线方式。

(4) 写出 P_i 的逻辑表达式(取上跳, 因所用的CMOS D触发器为上跳触发):

$$\begin{aligned} P_1 &= 1 & P_2 &= \overline{Q_1} \\ P_3 &= \overline{Q_2} & P_4 &= \overline{Q_1} \end{aligned}$$

(5) 求出各触发器的控制输入方程:

$$\begin{aligned} D_1 &= \overline{Q_1} & D_2 &= \overline{Q_2} \overline{Q_4} \\ D_3 &= \overline{Q_3} & D_4 &= Q_2 Q_3 \end{aligned}$$

(6) 根据 P_i 和 D_i 的逻辑表达式画出实施电路图(略)。

从设计程序上讲, 还应对所设计的电路进行分析, 以检查它是否存在死状态或死循环, 分析步骤同前述。分析和应用均表明该电路无死状态或死循环。

(本文1983年9月28日收到)

参 考 文 献

- [1] 雷存弟、朱石泉, 触发器的跳变方程及其在计数电路分析中的应用, 兰州大学学报 No 4, 1981.
- [2] 朱石泉、雷存弟, 触发器的跳变方程及其在计数电路设计中的应用, 兰州大学学报, No 4, 1980.

表 4

	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	Q'_4	Q'_3	Q'_2	Q'_1	
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0	2
2	0	0	1	0	0	0	1	1	3
3	0	0	1	1	0	1	0	0	4
4	0	1	0	0	0	1	0	1	5
5	0	1	0	1	0	1	1	0	6
6	0	1	1	0	0	1	1	1	7
7	0	1	1	1	1	0	0	0	8
8	1	0	0	0	1	0	0	1	9
9	1	0	0	1	0	0	0	0	0
10	1	0	1	0	x	x	x	x	
11	1	0	1	1	x	x	x	x	
12	1	1	0	0	x	x	x	x	
13	1	1	1	1	x	x	x	x	
14	1	1	1	0	x	x	x	x	
15	1	1	1	1	x	x	x	x	

ANALYSIS AND IMPROVEMENTS IN DESIGNING OF THE COUNTING CIRCUIT MODEL JZD-1 AND MODEL 768 DIGITAL INSTRUMENT MEASURING RADON IN GROUND WATER

Guo Shanyi and Hang Youzhan

(Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau, Lanzhou, China)

Abstract

This paper presents concrete applying of equation of jumping of flip-flop in the design of the counting circuit. We apply the method in the analysis of counting circuit in the early days of the developing the instrument, improves the circuit and design a simple, stabilizing and reliable series counting circuit.