

## 实验 2：组合逻辑电路设计

### 一、实验目的

1. 学习组合逻辑电路的设计方法和步骤，掌握译码器、编码器等组合部件的设计方法。
2. 掌握串行加法器设计方法，理解减法和比较运算的实现方法。
3. 掌握汉明码校验电路的设计方法。
4. 掌握桶形移位器的设计方法。

### 二、实验环境

Logisim 2.16

### 三、实验内容

#### 1. 译码器实验

根据如图 2.1 所示的 3-8 译码器芯片 74X138 的电路原理图，设计一个由反相逻辑门电路构成的 3-8 译码器，并对电路进行仿真测试，以验证电路的功能。

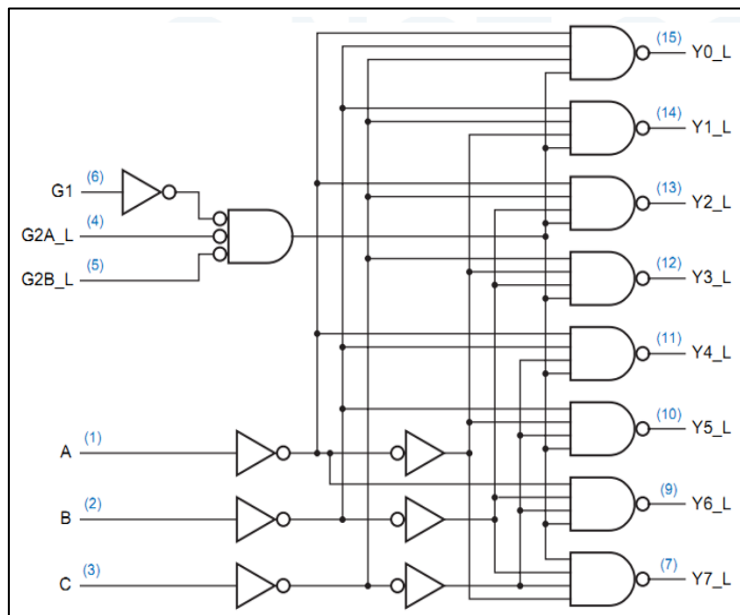


图 2.1 3-8 译码器 74X138 原理图

实验步骤如下：

- 1) 根据图 2.2 所示布局图添加逻辑门。打开 Logisim，选择 8 个 4 输入与非门、7 个非门、1 个与门、7 个输入引脚、8 个输出引脚，并将上述元件布局到 Logisim 的工作区中适当位置。可通过以下方式设置输入端口数：以与非门为例，选择某个与非门，在属性窗口的输入端口数输入框中设置数字 4。

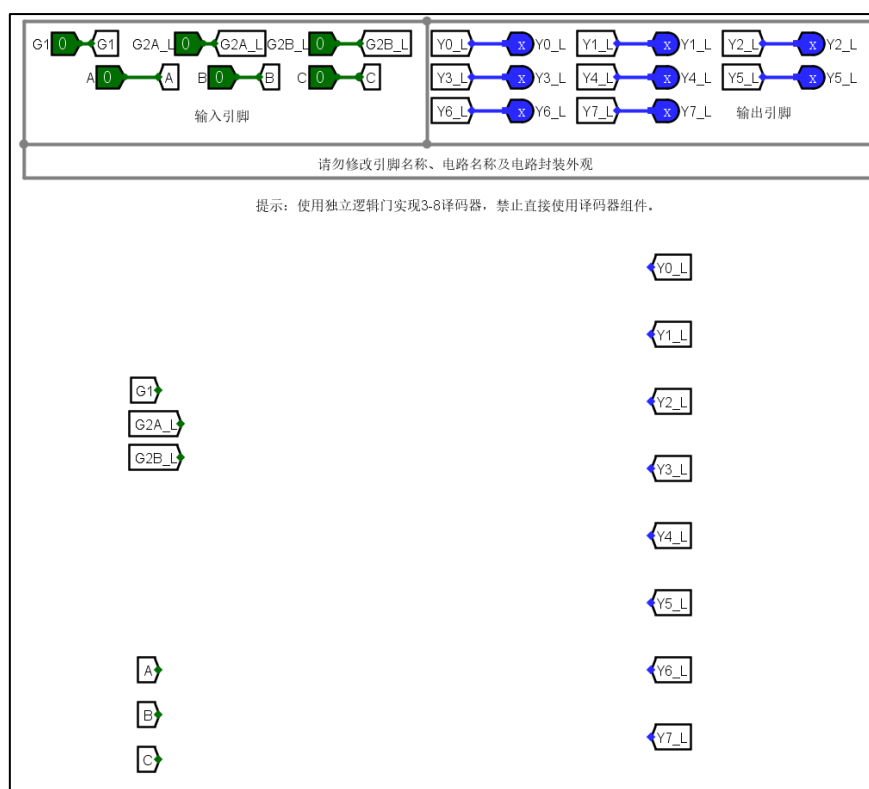


图 2.2 3-8 译码器布局图

- 2) 添加连线。将输入引脚、逻辑门的输入端、输出端、输出引脚等通过连接线相连。
- 3) 添加标识符。选中输入/输出引脚，在属性表中添加引脚标识符；选中逻辑门，在属性表中添加逻辑门标识符；点击快捷工具栏中的文本工具，在电路空白处添加电路的描述文字。标识符、注释文字的字体、大小、颜色和位置等均可在属性表中修改。
- 4) 仿真测试。进入仿真状态，改变输入引脚赋值，记录输出引脚值，填写表 2.1 所示的译码器功能表以验证实验结果。保存电路，文件名为 lab2.1.circ。

表 12.1 74X138 功能表

输 入						输 出							
G1	G2A_L	G2B_L	C	B	A	Y7	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1	Y0
X	1	X	X	X	X								
X	X	1	X	X	X								
0	X	X	X	X	X								
1	0	0	0	0	0								
1	0	0	0	0	1								
1	0	0	0	1	0								
1	0	0	0	1	1								
1	0	0	1	0	0								
1	0	0	1	0	1								

1	0	0	1	1	0	
1	0	0	1	1	1	

## 2. 编码器实验

根据如图 2.3 所示的 8-3 优先级编码器原理图，设计一个由逻辑门电路构成的 8-3 优先级编码器，并将编码器输出连接到一个十六进制数码管，通过数码管的输出显示来验证和测试电路。

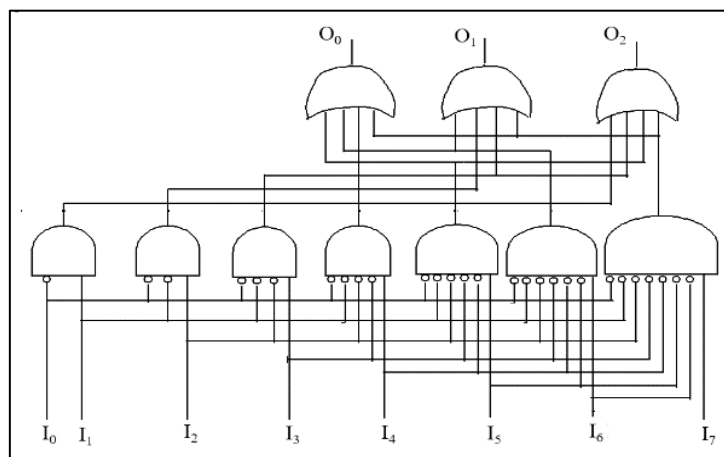


图 2.3 8-3 优先级编码器原理图

实验步骤如下：

- 1) 根据图 2.4 所示的布局图添加逻辑门。在 Logisim 的工作区中放置与门、或门、输入引脚、分线器、16 进制数码管等。将或门输入端口数属性改为 4，每个与门的输入端口数属性改为原理图所示个数，并修改输入引脚的极性（是否反转）。
- 2) 添加线路。将输入引脚、逻辑门的输入端、输出端、输出引脚等通过连接线相连。
- 3) 添加标识符。选中输入/输出引脚，在属性表中添加引脚标识符；选中逻辑门，在属性表中添加门标识符；点击快捷工具栏中文本工具，在电路空白处添加描述文字。

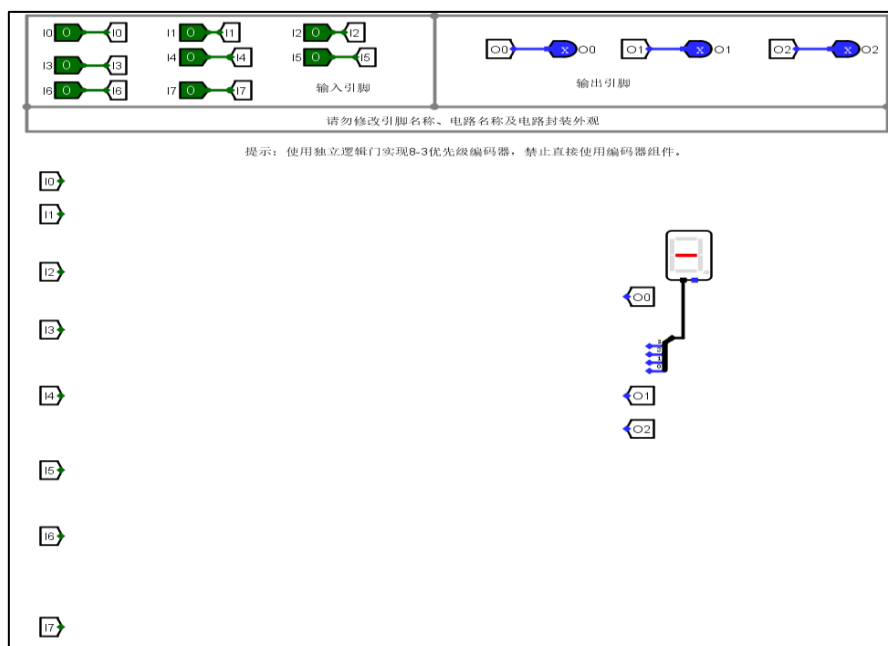


图 2.4 8-3 优先级编码器电路布局图

4) 仿真测试。进入仿真状态，改变输入引脚赋值，记录输出引脚值，填写表 2.2 所示的优先级编码器功能表，以验证实验结果。保存电路设计文件 lab2.2.circ。

表 2.2 8-3 优先级编码器功能表

输 入								输 出			
I0	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	O0	O1	O2	Hex 显示
1	X	X	X	X	X	X	X				
0	1	X	X	X	X	X	X				
0	0	1	X	X	X	X	X				
0	0	0	1	X	X	X	X				
0	0	0	0	1	X	X	X				
0	0	0	0	0	1	X	X				
0	0	0	0	0	0	1	X				
0	0	0	0	0	0	0	1				

### 3. 加减法器实验

串联 4 个全加器子电路实现 4 位串行进位加法器。将加数、被加数和和分别连接到 16 进制数码显示管进行验证。实验步骤如下：

1) 全加器实验。在 Logisim 中添加子电路：全加器 FA。根据全加器逻辑电路图，在 Logisim 工作区中添加逻辑门、连线 and 标识符。然后将或门输入端口数改为 3；将输入引脚、逻辑门的输入端和输出端、输出引脚等通过连接线相连。选中输入、输出引脚，在属性表中添加引脚标识符。选中逻辑门，在属性表中添加门标识符。点击快捷工具栏中文本工具，在电路空白处添加描述文字；如图 2.5 所示。

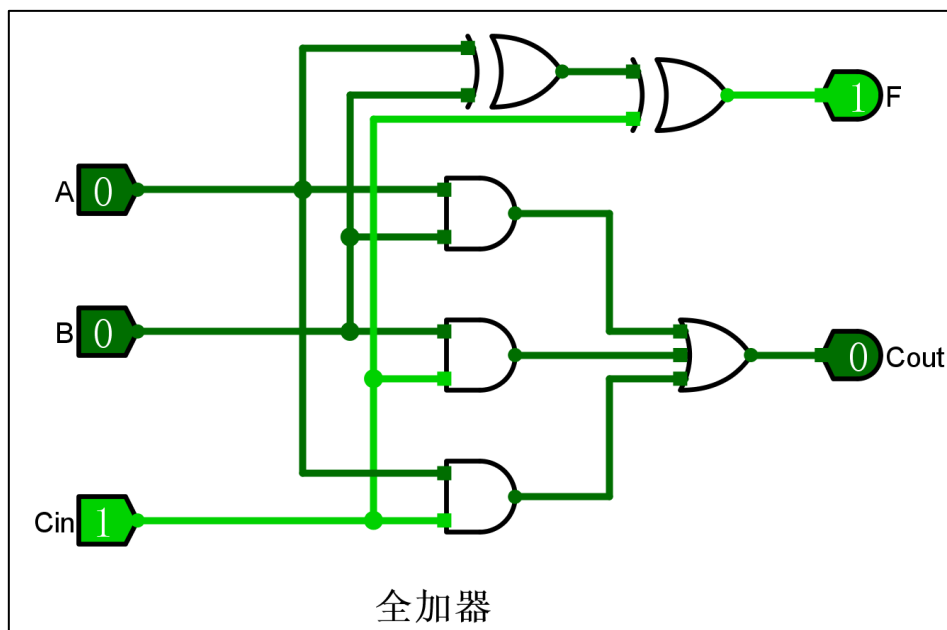


图 2.5 全加器电路图

验证电路功能，查看子电路外观及引脚布局。

2) 4 位串行进位加法器实验。在 Logisim 主电路 main 工作区中按图 2.6 所示进行组件布局，其中包含输入输出引脚、隧道、分线器、全加器子电路、常量和 16 进制数字显示等组件。修改组件属性，连接端口，实现 4 位串行进位加法器电路，并验证功能，记录测试数据。

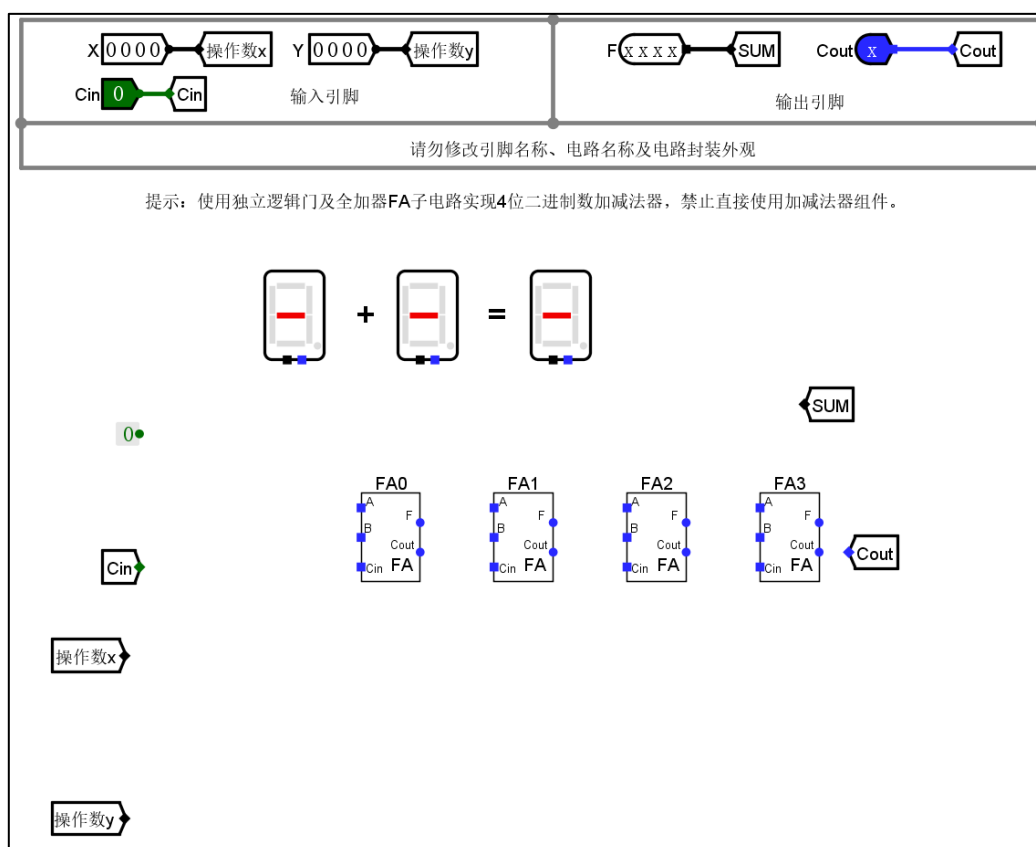


图 2.6 4 位串行加减法器组件布局图

3) 4 位二进制数补码减法运算实验。根据  $C_{in}$  输入值区分加减法运算，当  $C_{in}=0$  时，执行补码加法运算  $F=X+Y$ ；当  $C_{in}=1$  时，执行补码减法运算  $F=X-Y$ 。修改上述电路，添加必要的组件，例如位扩展器、异或门等，进行功能验证，并分析结果数据。保存电路设计文件 lab2.3.circ。

#### 4、汉明码校验电路（验收）

数据校验大多采用“冗余校验”的思想，即除原数据信息外，还增加若干位附加的编码，这些新增编码称为校验位。图 2.7 给出了一般情况下的处理过程。

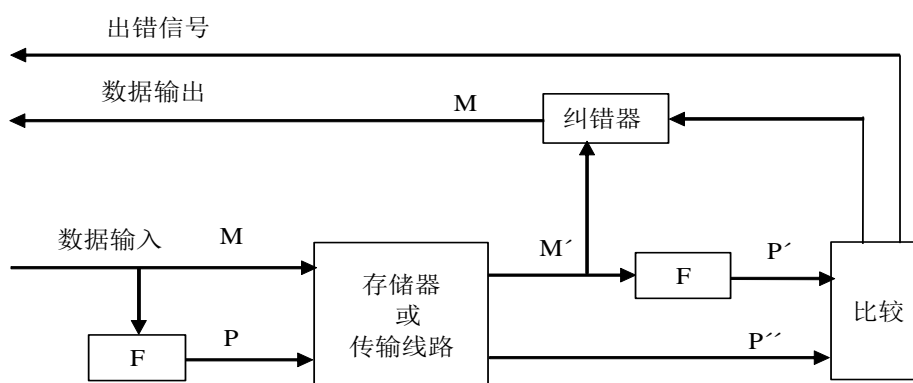


图 2.7 数据校验过程示意图

当数据  $M$  被存入存储器或从源部件开始传输时，对  $M$  进行某种运算（用函数  $F$  来表示），以产生相应的代码  $P=F(M)$ ，这里  $P$  就是校验位。这样原数据信息  $M$  和相应的校验位  $P$  一起被存储或传送。当数据被读出或传送到目标部件时，和数据信息一起被存储或传送的校验位也被得到，用于检错和纠错。假定读出后的数据为  $M'$ ，通过同样的运算  $F$  对  $M'$  也得到一个新的校验位  $P'=F(M')$ ，假定原来被存储的校验位  $P$  取出后其值为  $P''$ ，将校验位  $P''$  与新生成的校验位  $P'$  进行比较运算，生成一个故障字，根据故障字可以确定是否发生了差错。

最简单的数据检错方法是奇偶校验，通过判断数据  $M$  中 1 的个数是否发生了奇偶性变化来进行检错。若发生奇偶变化，则故障位  $S = P' \oplus P'' = 1$ 。

汉明码（Hamming Code，也译为海明码）的主要思想是，将数据按某种规律分成若干组，对每组进行相应的奇偶检测，以提供多位校验信息，得到相应的故障字，根据故障字对发生的错误进行定位，并将其纠正。汉明校验码实质上就是一种多重奇偶校验码。

对于只能对单个位出错的情况进行定位和纠错的单纠错码（SEC），进行汉明校验的主要思想如下：将需要进行检/纠错的数据分成  $i$  组，每组对应 1 位校验位，共有  $i$  位校验位，因此，故障字为  $i$  位。若故障字为 0，表示无错；否则故障字的数值就是出错位在码字中的位置编号。除去 0 的情况， $i$  位故障字的编码个数为  $2^i - 1$ ，因此构造的码字最多有  $2^i - 1$  位，例如，当  $i=3$  时，码字可以有 7 位，其中 3 位为校验位，4 位

为数据位。为了方便判断码字中出错的是校验位还是数据位，可将校验位的位置编号设为 2 的幂次，即校验位排在第 1 (001)、2 (010)、4 (100)、... 的位置上，其余位置上为数据位。这样，当故障字中只有一位为 1 时，说明是校验位出错，否则就是数据位出错。例如，当  $i=3$  时，假设校验码为  $P_3P_2P_1$ ，数据信息为  $M_4M_3M_2M_1$ ，则码字排列为  $P_1P_2M_1P_3M_2M_3M_4$ 。通常把上述由数据位和校验位构成的码字称为汉明码。图 2.8 给出了 7 位汉明码的故障字和出错情况的对应关系。

序号 分组 含义	1	2	3	4	5	6	7	故障字	正 确	出 错 位						
	$P_1$	$P_2$	$M_1$	$P_3$	$M_2$	$M_3$	$M_4$			1	2	3	4	5	6	7
第3组				✓	✓	✓	✓	$S_3$	0	0	0	0	1	1	1	1
第2组		✓	✓			✓	✓	$S_2$	0	0	1	1	0	0	1	1
第1组	✓		✓		✓		✓	$S_1$	0	1	0	1	0	1	0	1

图 2.9 8 位汉明码的故障字和出错情况对应关系

如图 2.9 所示，第 1 组的故障位  $S_1$  由校验位  $P_1$  和数据位  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_4$  生成，第 2 组的故障位  $S_2$  由校验位  $P_2$  和数据位  $M_1$ 、 $M_3$ 、 $M_4$  生成、第 3 组的故障位  $S_3$  由校验位  $P_3$  和数据位  $M_2$ 、 $M_3$ 、 $M_4$  生成。假设在终部件得到的数据位  $M'$  为  $M_4M_3M_2M_1$ ，校验位  $P''$  为  $P_3P_2P_1$ ，每组采用偶校验，则根据  $M'$  得到  $P'$  的每一位如下：

$$P_1' = M_1 \oplus M_2 \oplus M_4$$

$$P_2' = M_1 \oplus M_3 \oplus M_4$$

$$P_3' = M_2 \oplus M_3 \oplus M_4$$

因为故障字  $S=P' \oplus P''$ ，因此，根据  $P'$  和  $P''$  得到故障字的每一位如下：

$$S_1 = M_1 \oplus M_2 \oplus M_4 \oplus P_1$$

$$S_2 = M_1 \oplus M_3 \oplus M_4 \oplus P_2$$

$$S_3 = M_2 \oplus M_3 \oplus M_4 \oplus P_3$$

因此，在终部件的汉明码检/纠错电路只要根据在终部件得到的数据位  $M_4M_3M_2M_1$  和校验位  $P_3P_2P_1$  形成的码字，按图 2.9 所示的方式划分成 3 组，每组按照上述偶校验方式，得到每一组的故障位  $S_i$ ，由故障位构成的故障字  $S_3S_2S_1$  的值就能确定码字中哪一位发生了错误。

图 2.10 给出了 7 位汉明码检/纠错电路原理图。

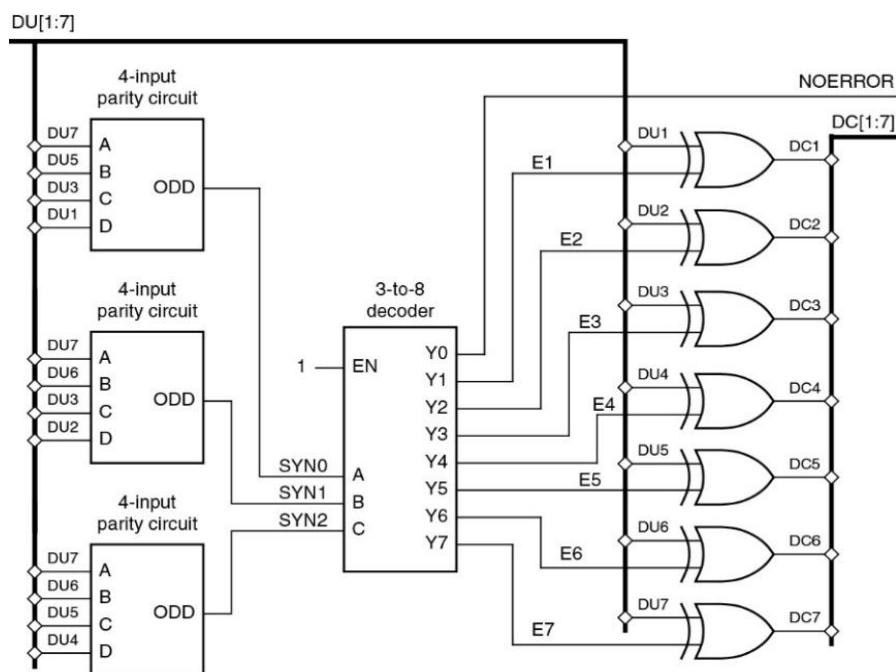


图 2.10 7 位汉明码检/纠错电路原理图

在 Logisim 的工作区中利用译码器、奇偶校验子电路、隧道和分线器等组件实现 7 位汉明码纠错功能，并显示发生错误位置和状态，参考组件布局图如 2.11 所示，输入测试数据并进行验证说明，保存设计文件为 lab2.4.circ。

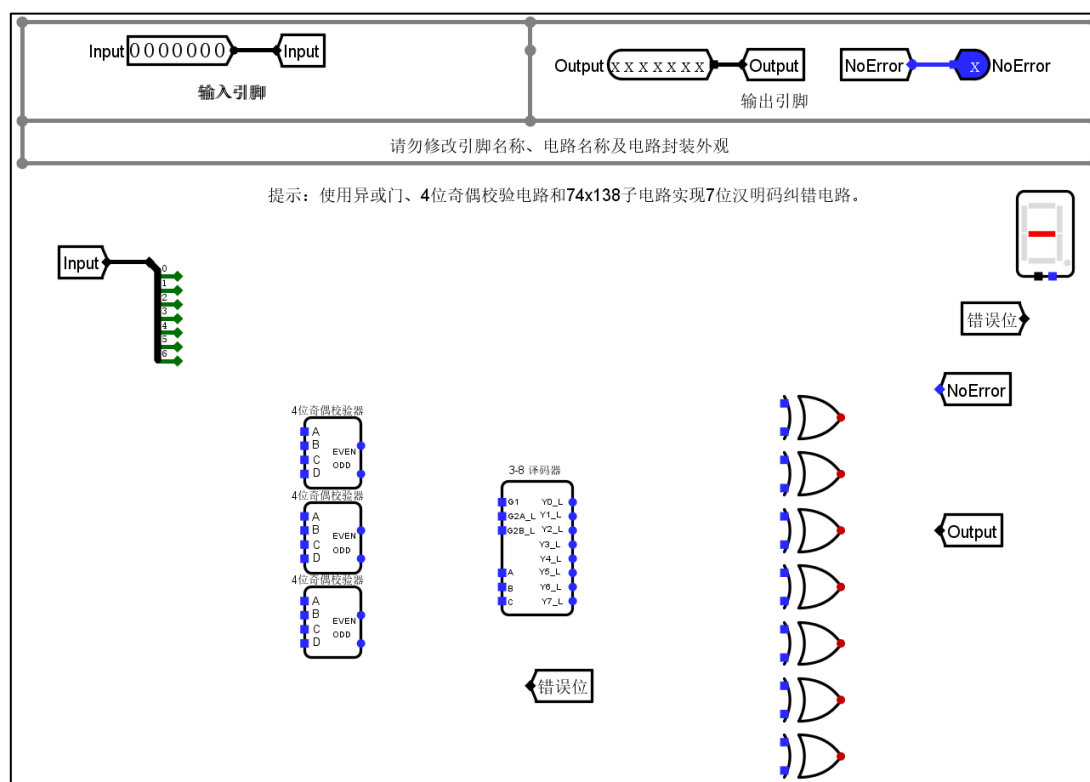


图 2.11 7 位汉明码纠错电路组件布局图

## 5、桶形移位器



桶形移位器采用组合逻辑的方式来实现移位功能，能在一个时钟周期内完成多位移动，具有很高的效率，常被用在 ALU 中来实现移位运算。它具有  $n$  位数据输入和  $n$  位数据输出，以及指定移动方向、移动类型（算术/逻辑/循环）和移动位数等。

8 位桶形移位器的输入输出引脚图，如图 2-12 所示。其中输入数据  $din$  和输出数据  $dout$  均为 8 位，移位位数  $shamt$  为 3 位。选择端 L/R 表示左移和右移，选择端 A/L 表示算术、逻辑和循环移位。

（L/R,A/L）赋值为 00 时表示逻辑右移，赋值为 01 表示算术右移，赋值为 10 时表示逻辑左移，赋值为 11 时表示循环左移。循环右移可以使用循环左移通过改变移位位数来实现。

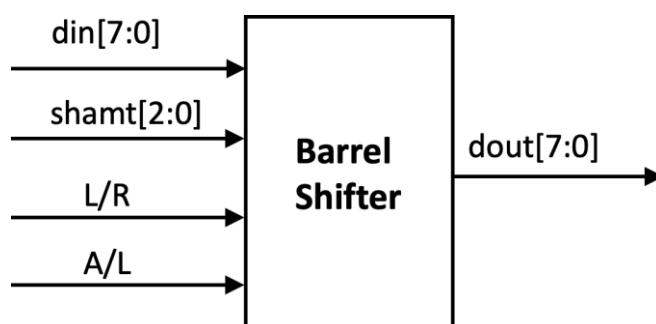


图 2-12 8 位桶形移位器逻辑符号图

桶形移位器的功能有 2 位 L/R 和 A/L，因而可以使用四路选择来实现数据的输入。8 位输入数据需要 3 位移位长度标识。需要使用 3 级四路选择器级联实现移动位数，第一级可移动 1 位，第二级可移动 2 位，第三级可移动 4 位。在边界右移时，需考虑移入位是 0 还是输入数据的最高位  $din[7]$ （算术右移），在左移时，需考虑移入位是 0 或者是输入数据的高位（循环左移）。该移位电路为组合逻辑电路，在输入改变时无需时钟信号就可以直接得到移位结果。

在 Logisim 的工作区中放置多路选择器、分线器、常量 0 等组件实现 8 位桶形移位器，参考布局图如 2.14 所示，输入测试数据并进行验证说明，保存设计文件 lab2.5.circ。

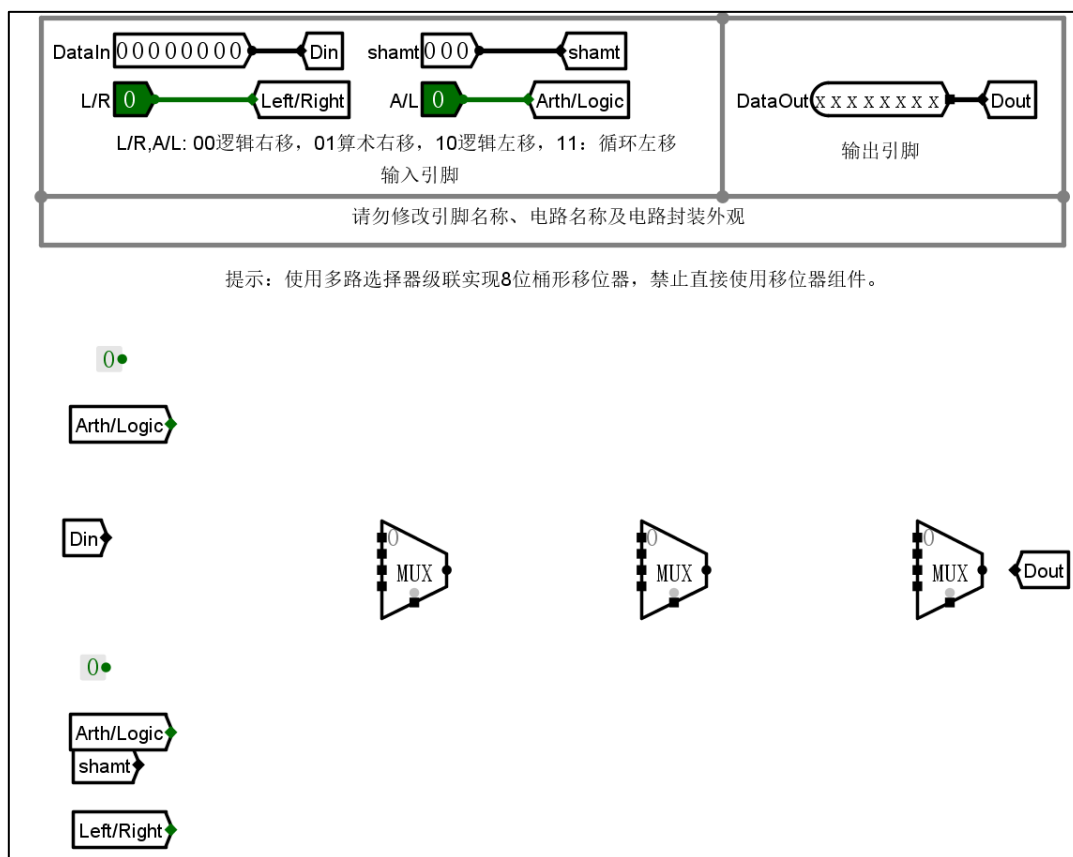


图 2.14 8 位桶形移位器组件布局图

#### 四、思考题

1. 修改实验中的加法器电路，生成进位标志 CF、溢出标志 OF、符号标志 SF 和结果为零标志位 ZF。
2. 在执行比较指令时，通常使用减法运算后，判断标志位的方式来实现，试通过上述加法器实验举例说明判别的方法。
3. 如何使用逻辑门电路实现 4 位无符号二进制数比较器，并扩展到带符号数的比较，输出相等、大于和小于三个结果。
4. 如何使用 8 位桶形移位器扩展到 32 位桶形移位器。