

《计算机组成原理实验》

(第二次) (答案)

厦门大学信息学院软件工程系 曾文华

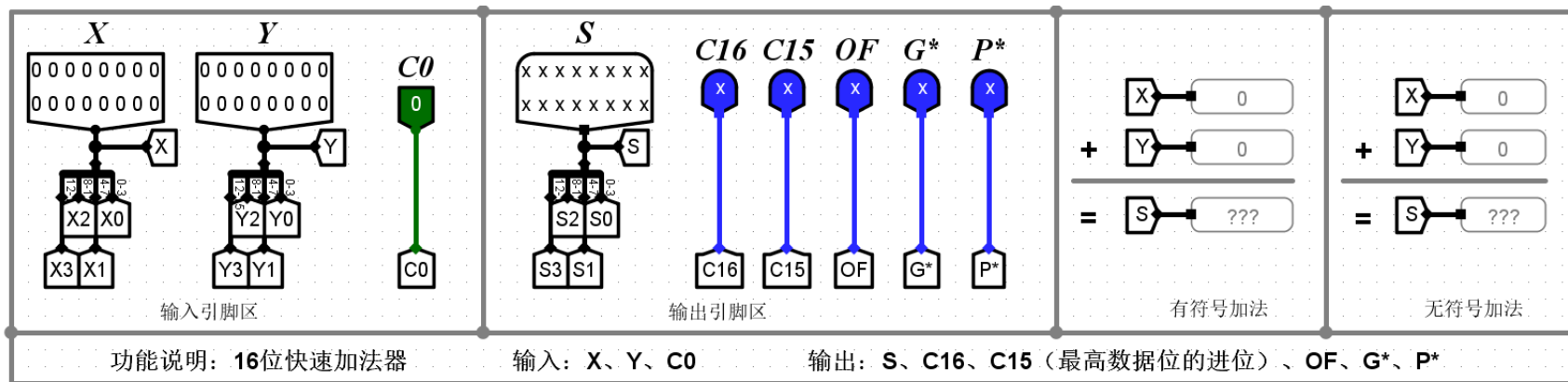
2023年4月6日

目录

- 一、桶型移位器
- 二、串行加法器
 - 1、8位串行加法器
 - 2、8位串行可控加减法器
- 三、先行进位加法器
 - 1、4位先行进位电路
 - 2、4位快速加法器
 - 3、16位快速加法器（组内并行、组间串行）
 - 4、16位快速加法器（组内并行、组间并行）（设计实验）
 - 5、32位快速加法器（组内并行、组间串行）（设计实验）
- 四、算术逻辑单元（ALU）
- 五、阵列乘法器
 - 1、5位无符号阵列乘法器（斜向）
 - 2、5位无符号阵列乘法器（横向）
 - 3、6位原码阵列乘法器（设计实验）
 - 4、6位补码阵列乘法器（设计实验）
- 六、原码和补码一位乘法器
 - 1、8位无符号一位乘法器
 - 2、8位原码一位乘法器（设计实验）
 - 3、8位补码一位乘法器
 - 4、8位补码一位乘法器（采用8位无符号一位乘法器实现）（挑战性实验）

16位快速加法器（组内并行、组间并行）（设计实验）

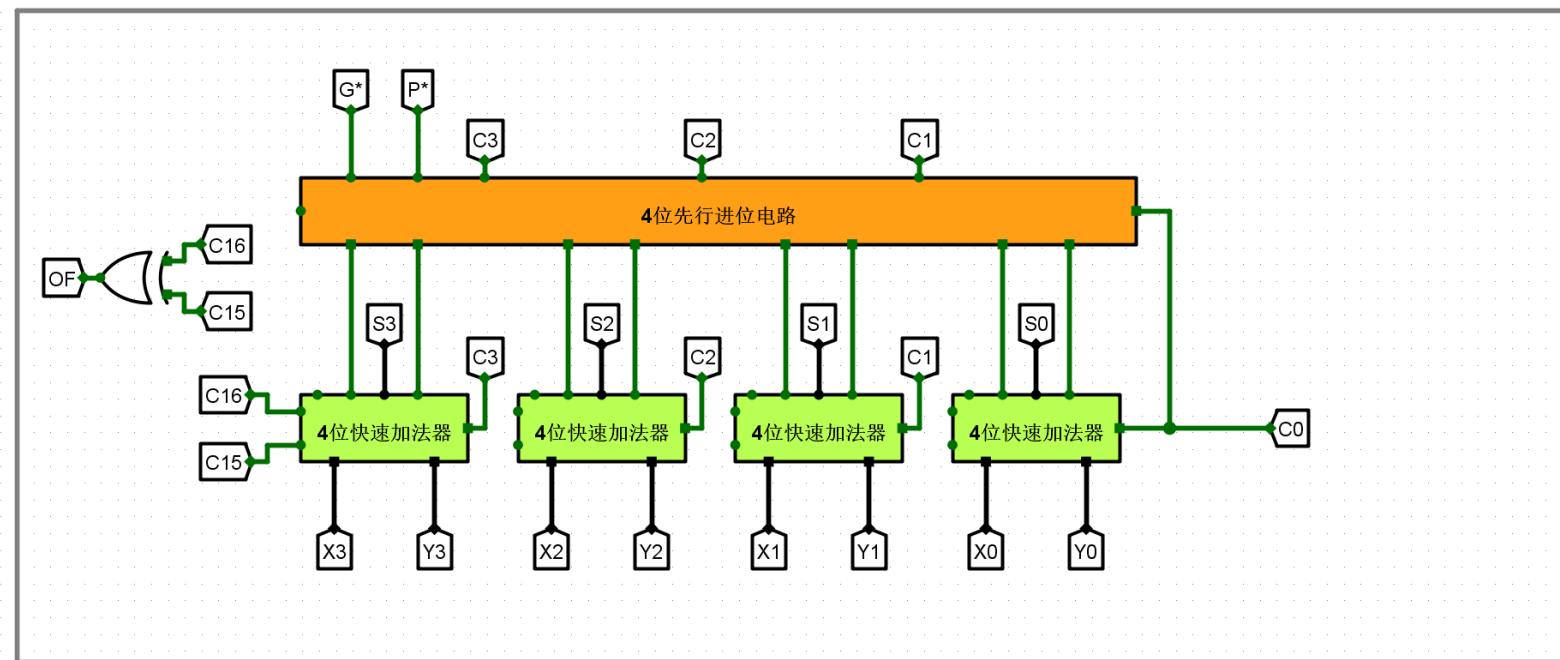
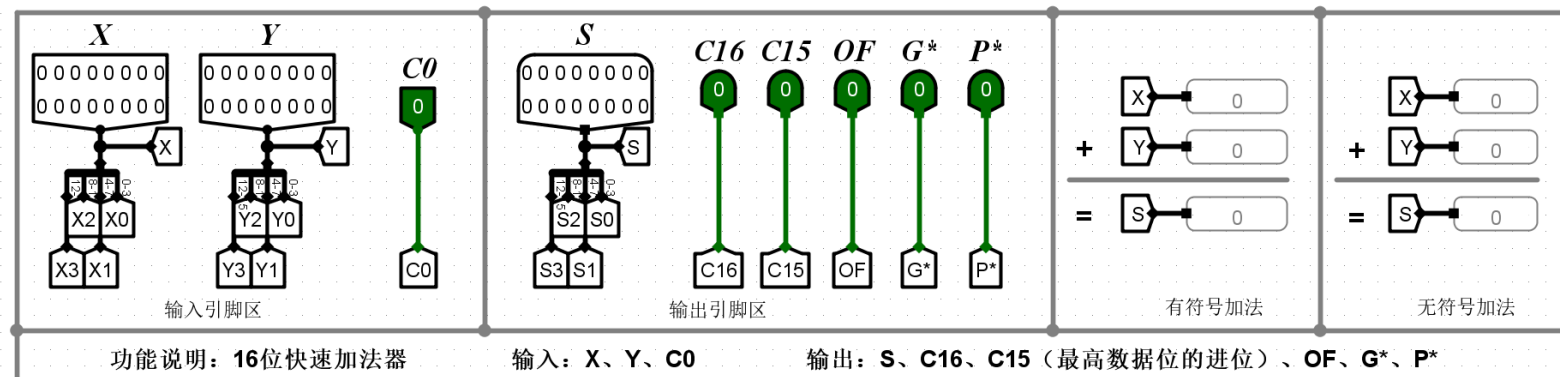
- 16位快速加法器（组内并行、组间并行，教材图3.8）（设计实验）
 - 输入：X（16位）、Y（16位）、C0
 - 输出：S（16位）、C16、C15（最高数据位的进位，相当于公式3-5中的 C_d ）、OF（溢出标志）、G*、P*
- 请同学们设计该电路！



请同学们在此处设计电路！

16位快速加法器（组内并行、组间并行）

• 答案：



16位快速加法器（组内并行、组间并行）

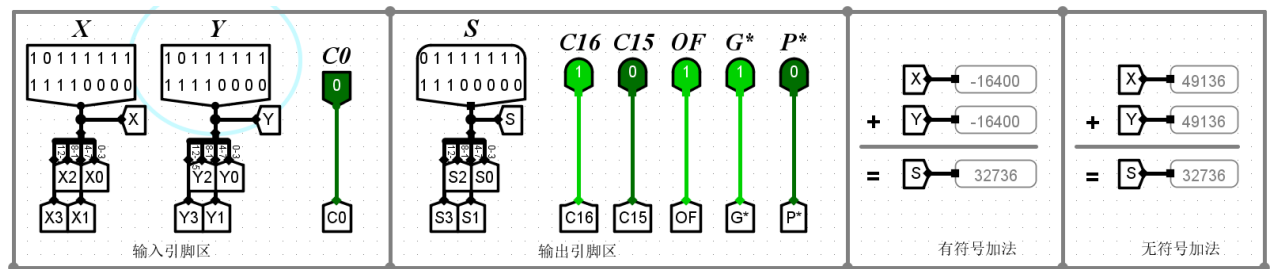
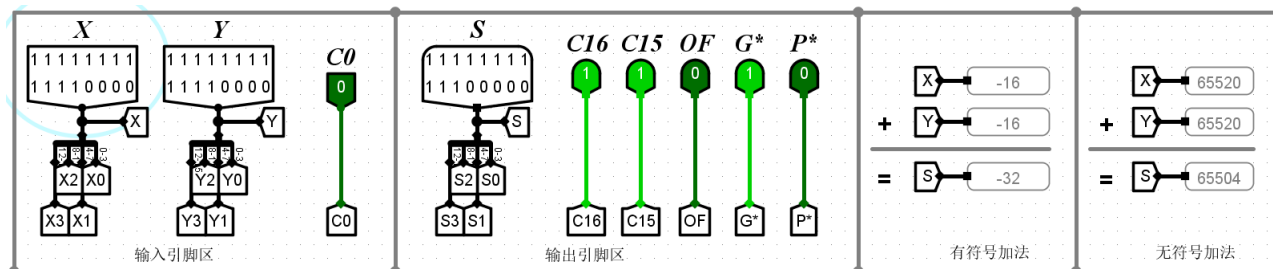
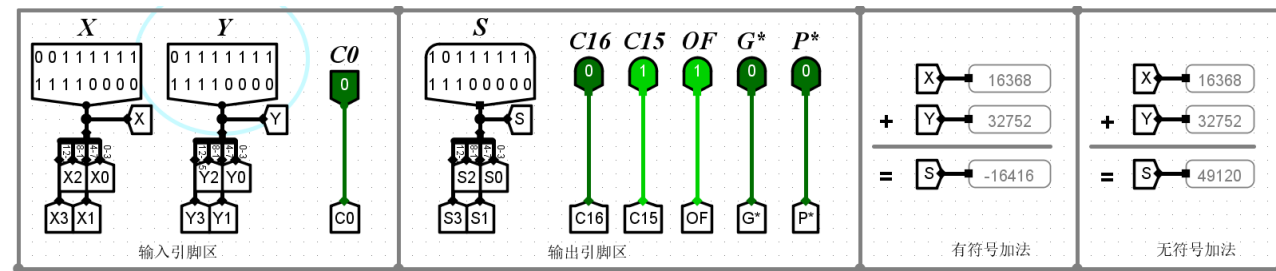
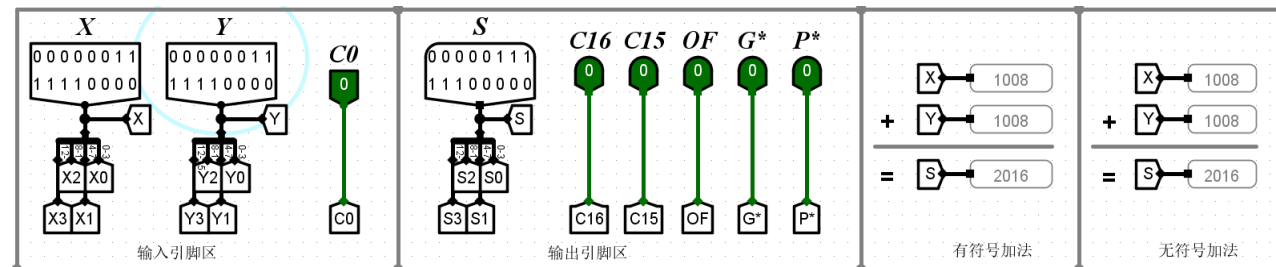
• 16位快速加法器（组内并行、组间并行）的验证：

• 正数+正数=正数（不溢出）

• 正数+正数=负数（溢出）

• 负数+负数=负数（不溢出）

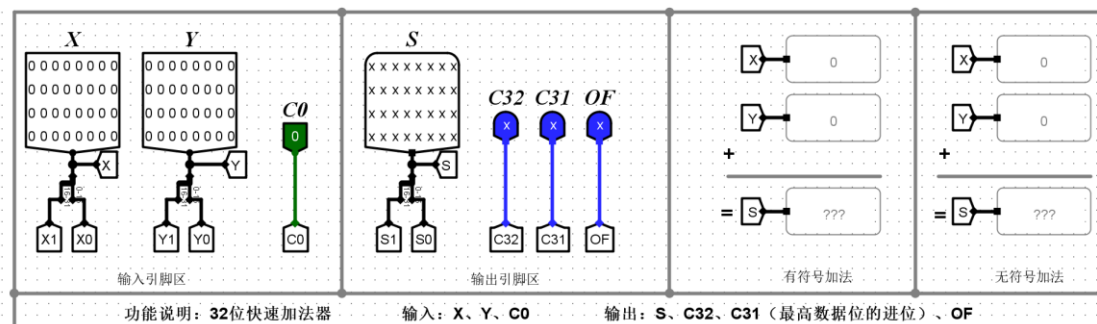
• 负数+负数=正数（溢出）



32位快速加法器（组内并行、组间串行）（设计实验）

32位快速加法器（组内并行、组间串行）（设计实验）

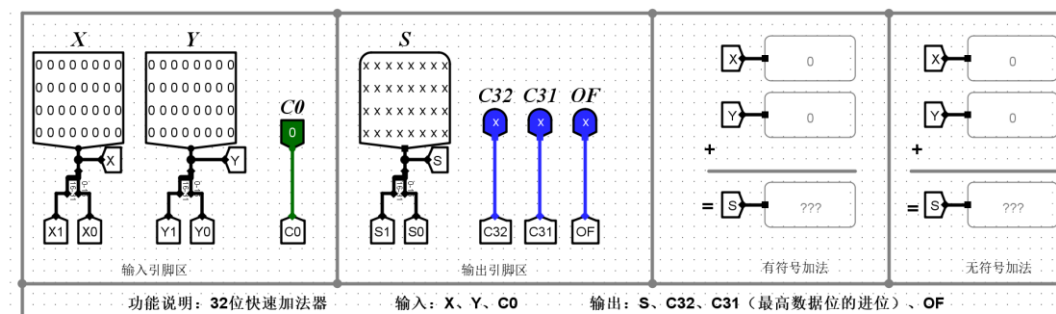
- 输入：X（32位）、Y（32位）、C0
- 输出：S（32位）、C32、C31（最高数据位的进位，相当于公式3-5中的 C_d ）、OF（溢出标志）
- 请同学们设计该电路！（16位加法器有两种电路）



请同学们在此处设计电路！

（16位加法器采用：组内并行、组间串行）

32位快速加法器（组内并行、组间串行）

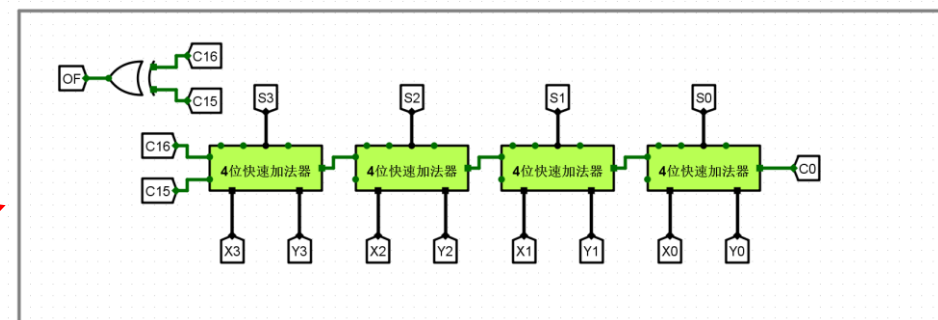
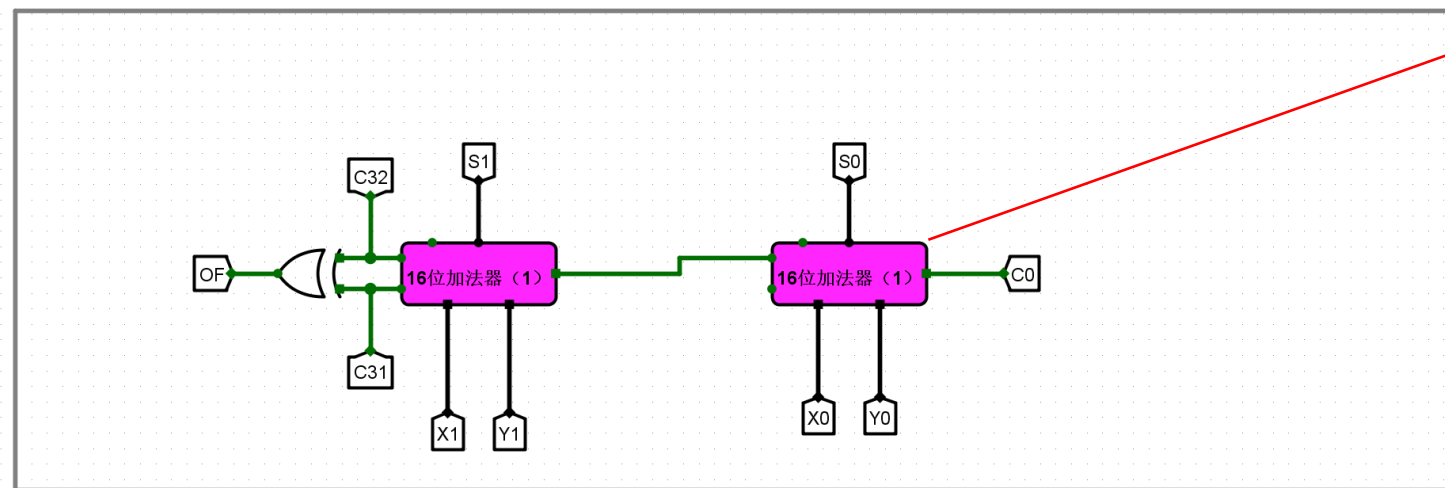
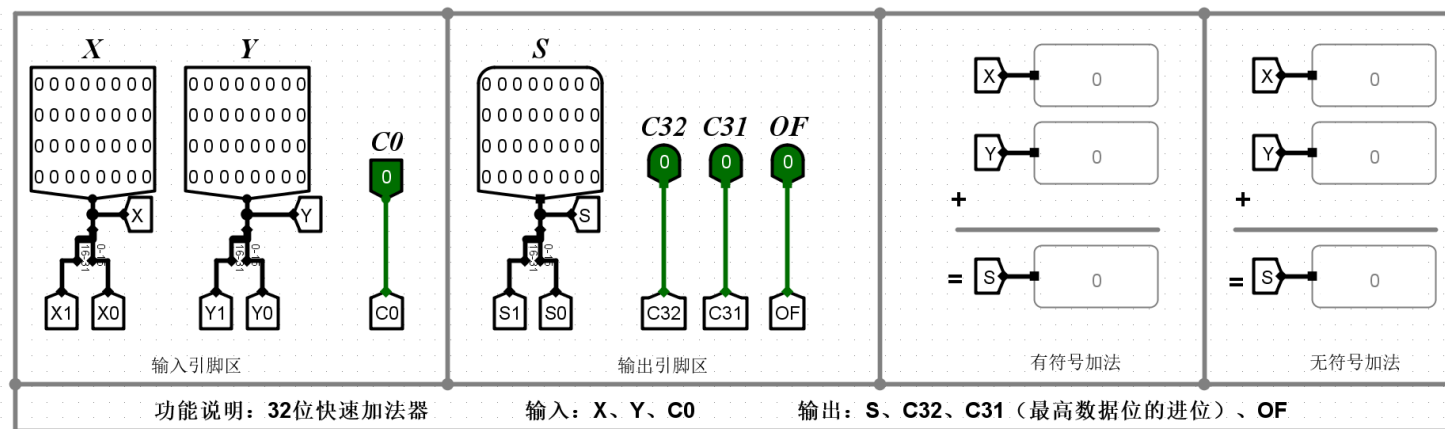


请同学们在此处设计电路！

（16位加法器采用：组内并行、组间并行）

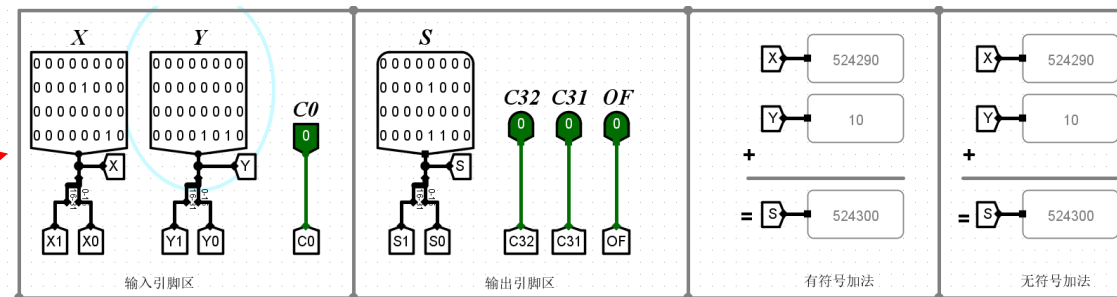
32位快速加法器（组内并行、组间串行）

• 答案 (1) :

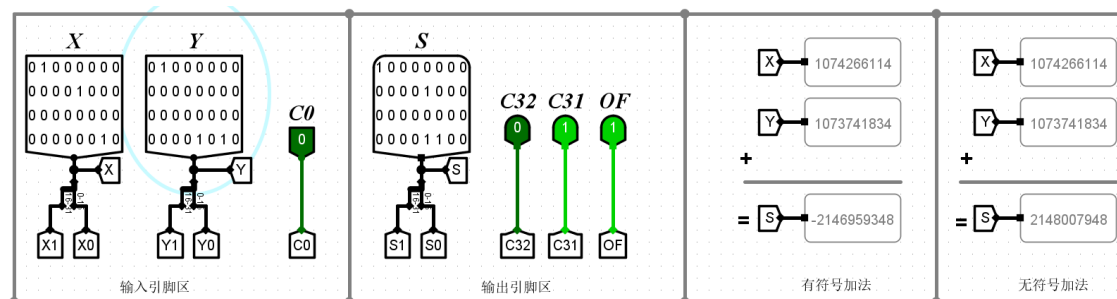


• 32位快速加法器 (1) 的验证:

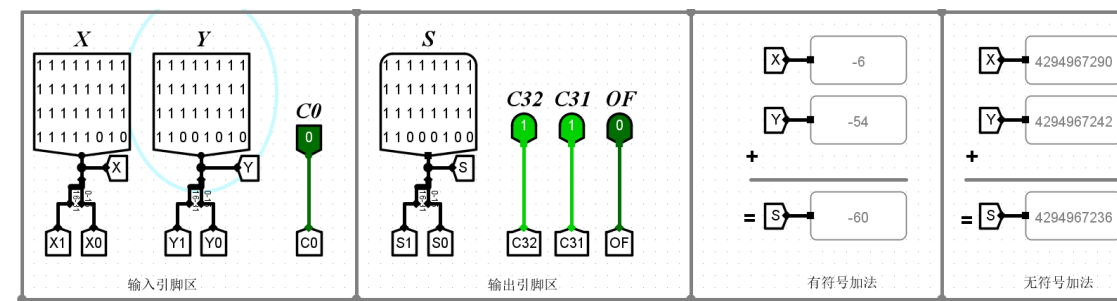
• 正数+正数=正数 (不溢出)



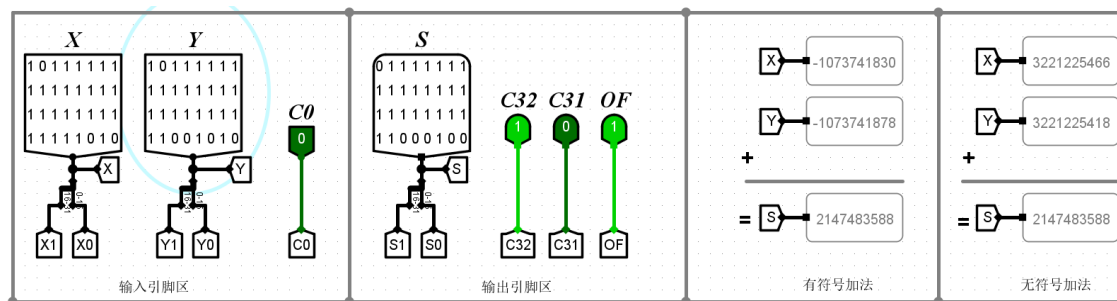
• 正数+正数=负数 (溢出)



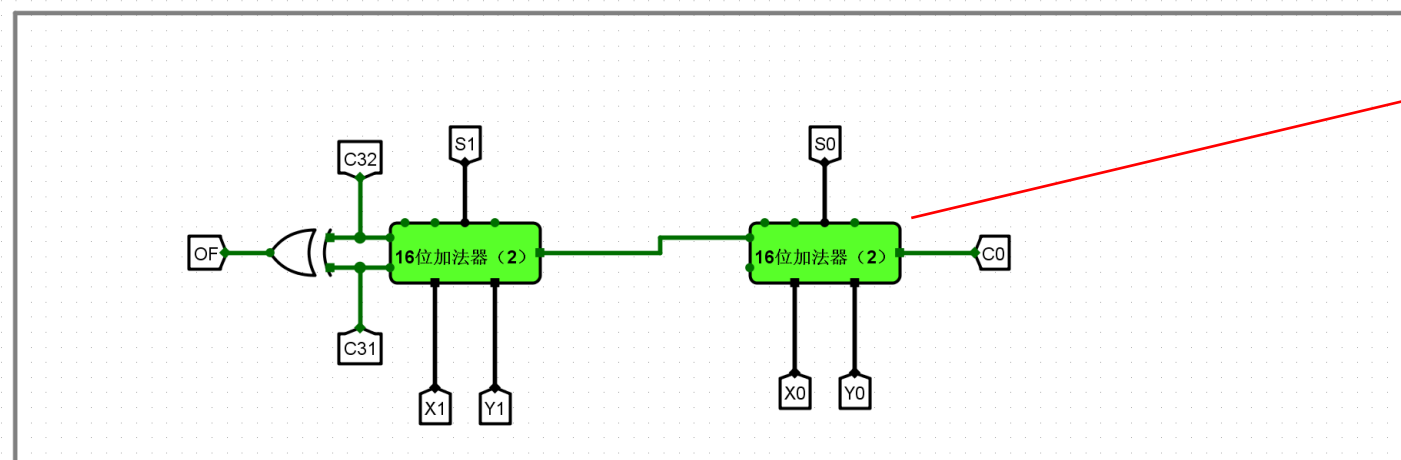
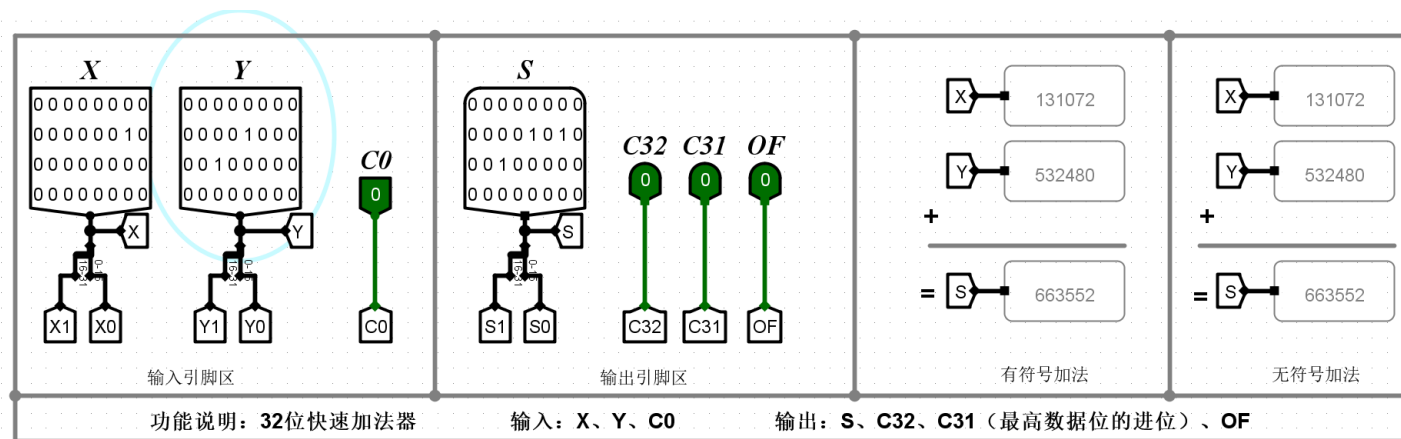
• 负数+负数=负数 (不溢出)



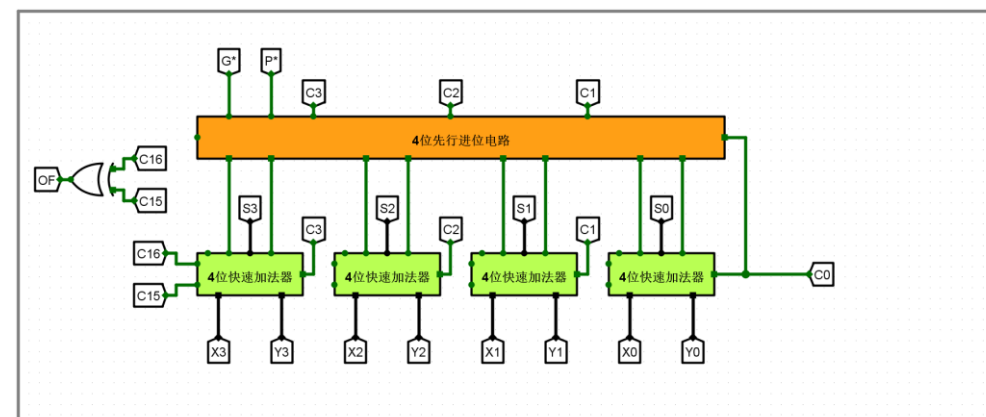
• 负数+负数=正数 (溢出)



• 答案 (2) :



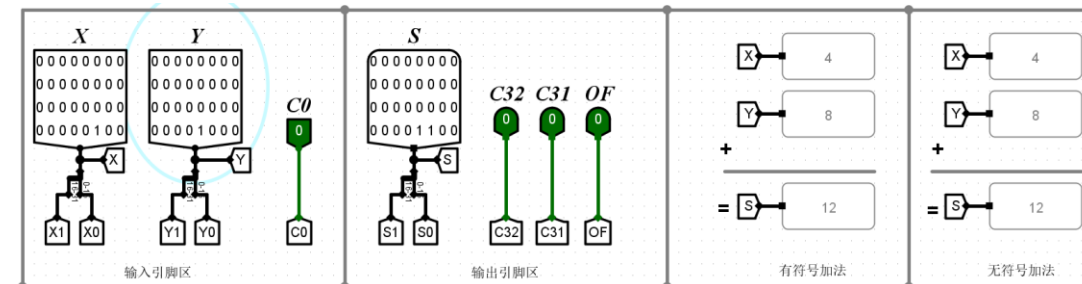
32位快速加法器 (组内并行、组间串行)



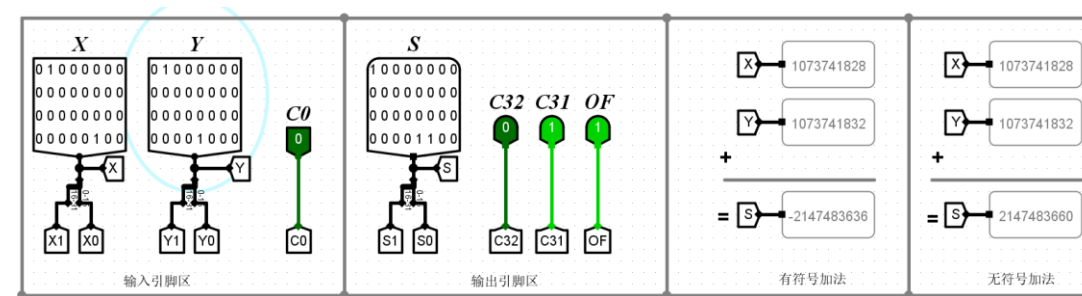
16位快速加法器 (组内并行、组间并行)

• 32位快速加法器 (2) 的验证:

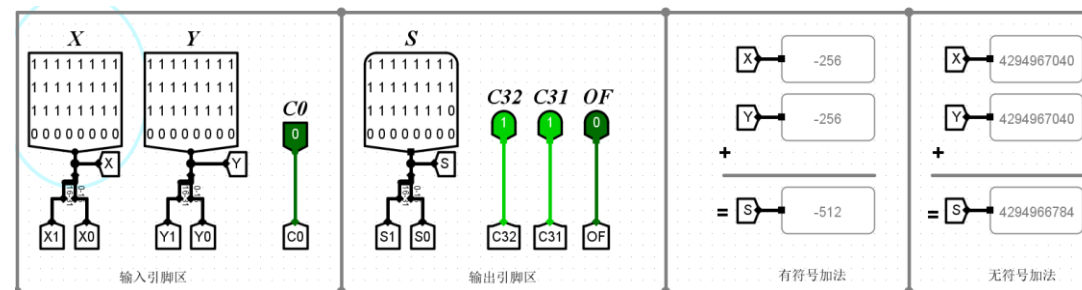
• 正数+正数=正数 (不溢出)



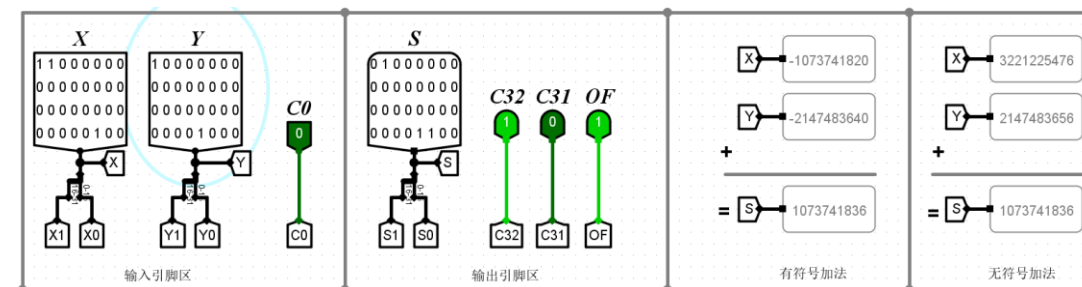
• 正数+正数=负数 (溢出)



• 负数+负数=负数 (不溢出)



• 负数+负数=正数 (溢出)



6位原码阵列乘法器 (设计实验)

- 6位原码阵列乘法器 (设计实验)

- 输入 (6位) : $X = X_5, X_4X_3X_2X_1X_0$, $Y = Y_5, Y_4Y_3Y_2Y_1Y_0$; $X = -31 \sim +31$, $Y = -31 \sim +31$
- 输出 (11位) : $P = P_{10}, P_9P_8P_7P_6P_5P_4P_3P_2P_1P_0$; $P = -961 \sim +961$
- 其中, X_5 、 Y_5 、 P_{10} 为符号位

- 请同学们利用前面的5位无符号阵列乘法器 (可以是斜向, 也可以是横向), 实现6位原码阵列乘法器

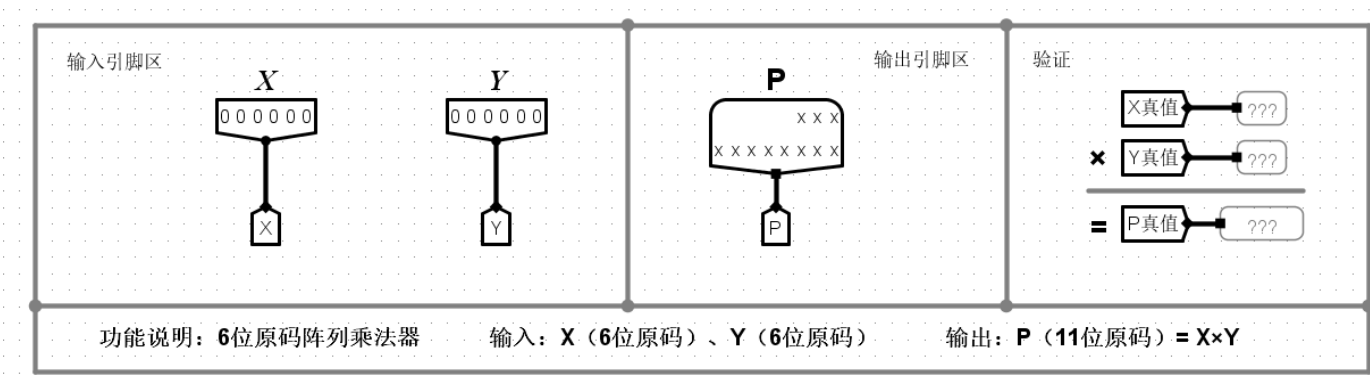
- 思路:

- 数值位 (5位) 采用5位无符号阵列乘法器, 符号位单独处理
- 令: $|X|$ (5位) $= X_4X_3X_2X_1X_0$; $|Y|$ (5位) $= Y_4Y_3Y_2Y_1Y_0$
- 则: $X = X_5, |X|$; $Y = Y_5, |Y|$
- 将 $|X|$ 和 $|Y|$ 通过5位无符号阵列乘法器进行运算, 得到10位无符号乘积 $|P| = P_9P_8P_7P_6P_5P_4P_3P_2P_1P_0$
- 则: $P = P_{10}, |P|$
- 其中: $P_{10} = X_5 \oplus Y_5$

- 验证: 请同学们通过改变 X 、 Y 的值, 对实现的6位原码阵列乘法器进行验证:

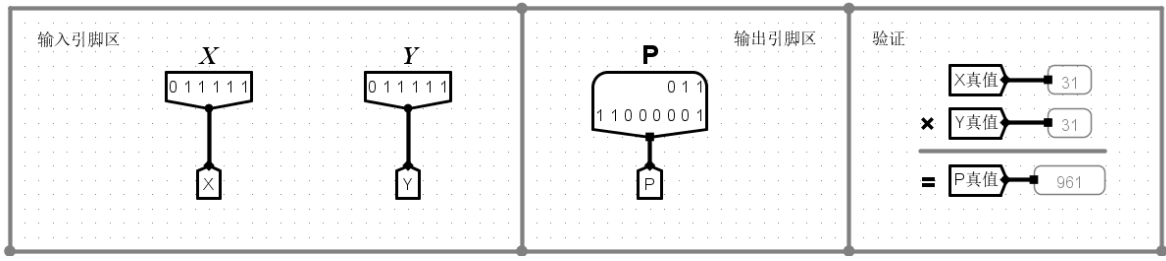
- X =正数, Y =正数, P =正数 (例如: $X=31$ 、 $Y=31$ 、 $P=961$)
- X =正数, Y =负数, P =负数 (例如: $X=31$ 、 $Y=-31$ 、 $P=-961$)
- X =负数, Y =正数, P =负数 (例如: $X=-31$ 、 $Y=31$ 、 $P=-961$)
- X =负数, Y =负数, P =正数 (例如: $X=-31$ 、 $Y=-31$ 、 $P=961$)

- 注意: 需要将 X 、 Y 、 P 的原码转换为真值进行显示

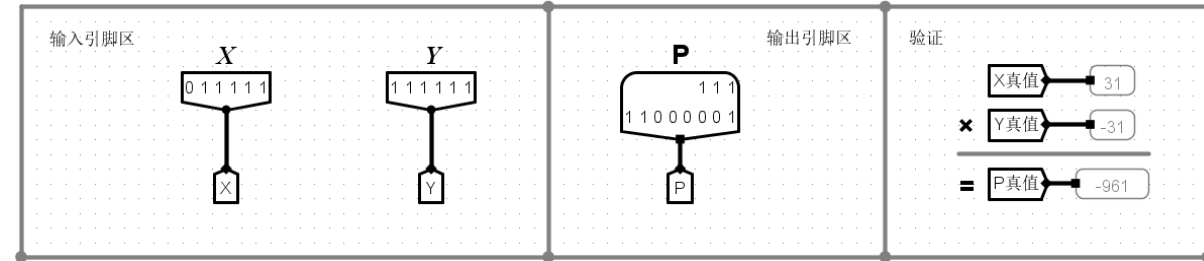


除了要得到原码的乘积P, 还要将运算结果用真值显示出来, 即要将原码 (X、Y、P) 转换为真值 (X真值、Y真值、P真值)

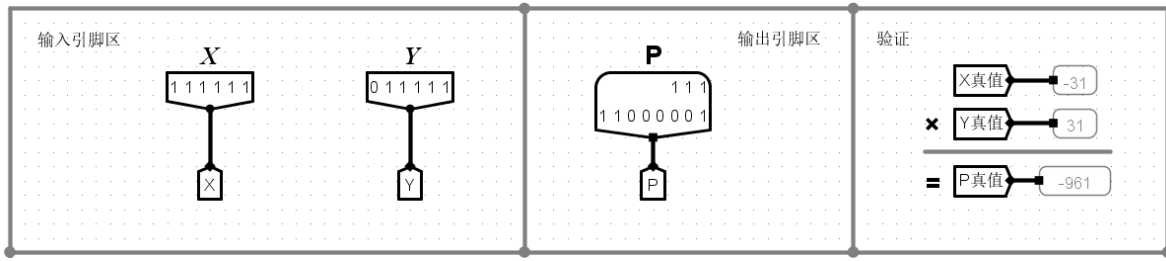
正数 x 正数 = 正数



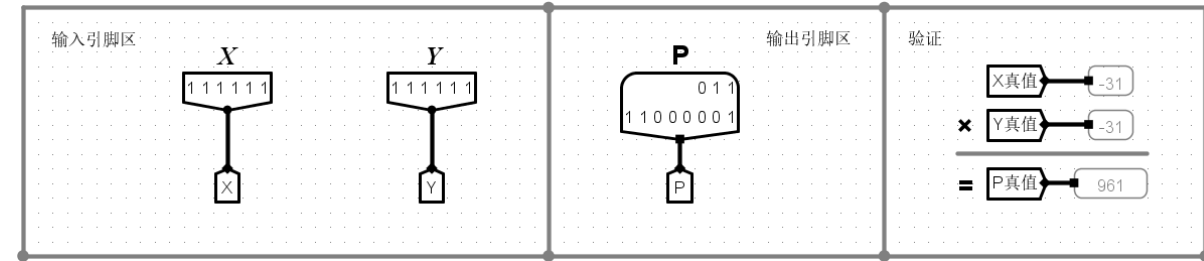
正数 x 负数 = 负数



负数 x 正数 = 负数

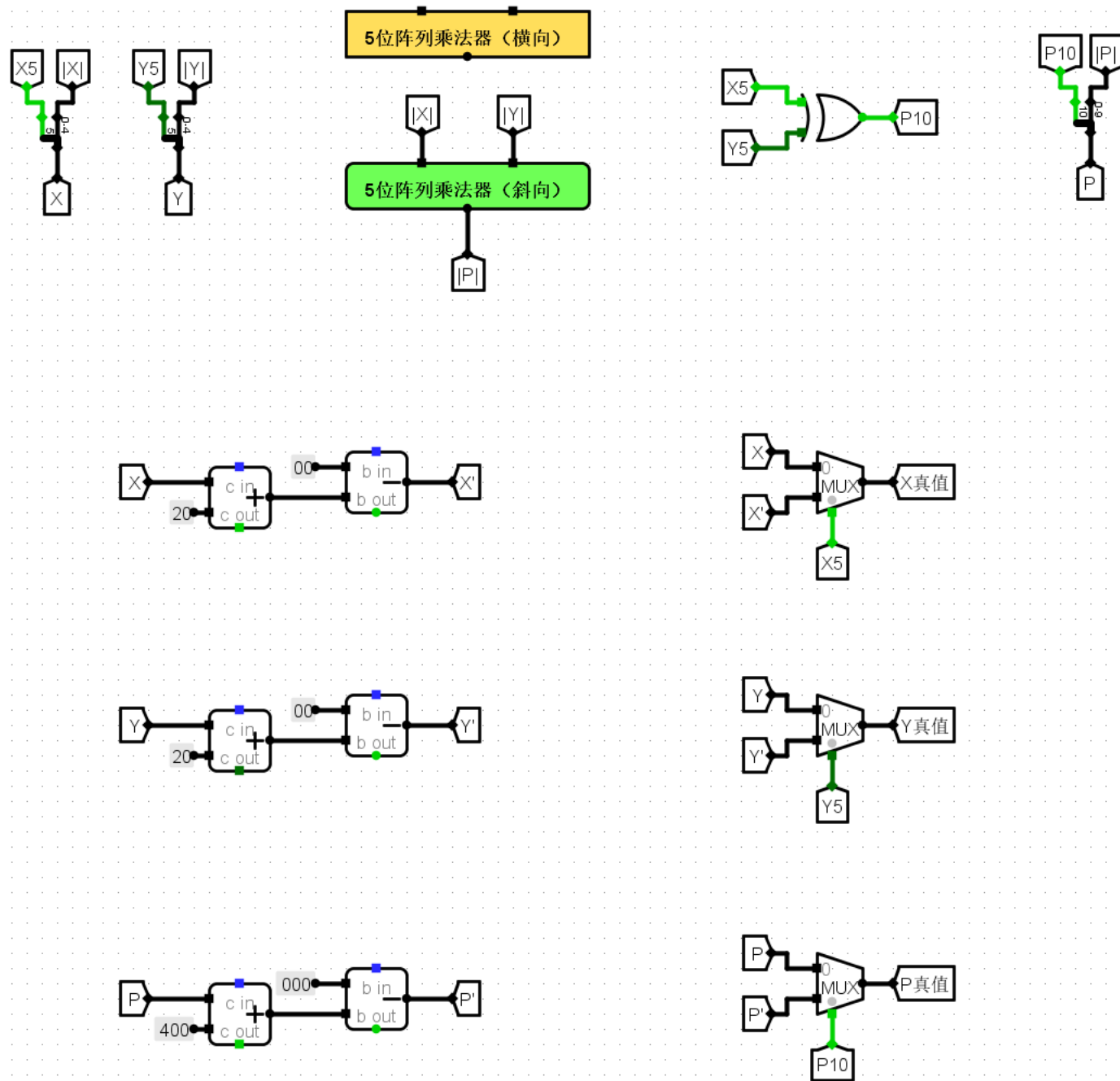


负数 x 负数 = 正数



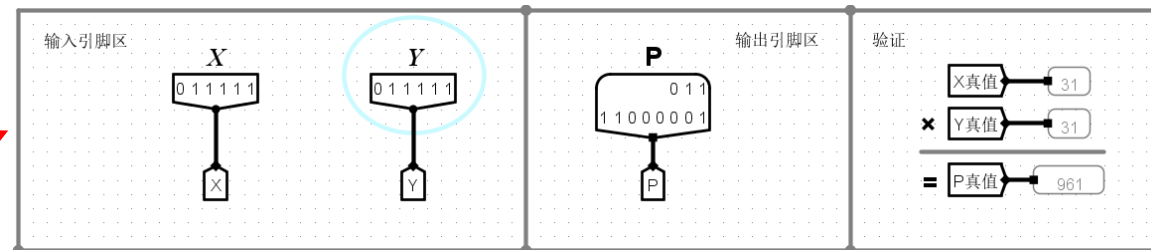
• 答案:

- 第一步: 提取X、Y的数值位 ($|X|$ 、 $|Y|$, 都是5位) 和符号位 (X_5 、 Y_5)
- 第二步: $|X|$ 和 $|Y|$ 相乘, 得到 $|P|$ (10位)
- 第三步: 计算乘积的符号位 $P_{10} = X_5 \oplus Y_5$
- 第四步: 将 P_{10} 和 $|P|$ 拼接成 P (11位)
- 第五步: 根据X、Y, 计算X、Y的真值
 - 如果X为正数, X真值=X
 - 如果X为负数, 例如 $X = -31$ (原码) = 11 1111 = -1 (补码), **X真值** = $0 - (X + 20H) = 0 - (X + 32) = -31$ (补码)
- 第六步: 根据P, 计算P的真值
 - 如果P为正数, P真值=P
 - 如果P为负数, 例如 $P = -961$ (原码) = 111 1100 0001 = -63 (补码), **P真值** = $0 - (P + 400H) = 0 - (P + 1024) = -961$ (补码)

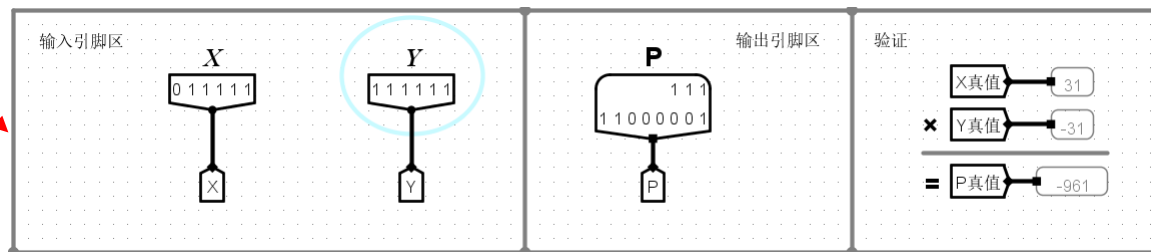


• 6位原码阵列乘法器的验证:

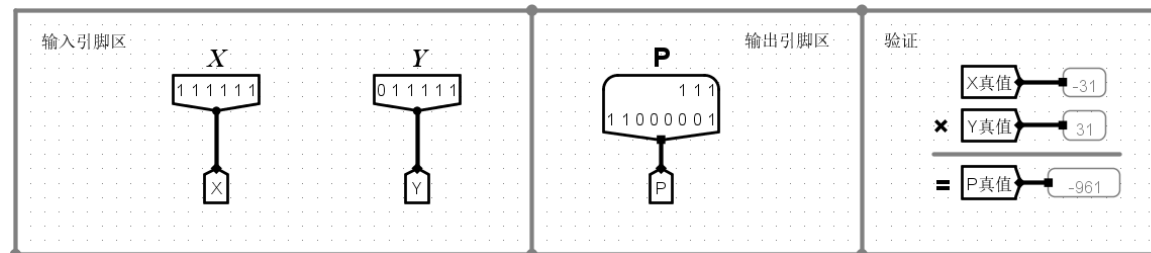
• X=正数, Y=正数, P=正数 (例如: X=31、Y=31、P=961)



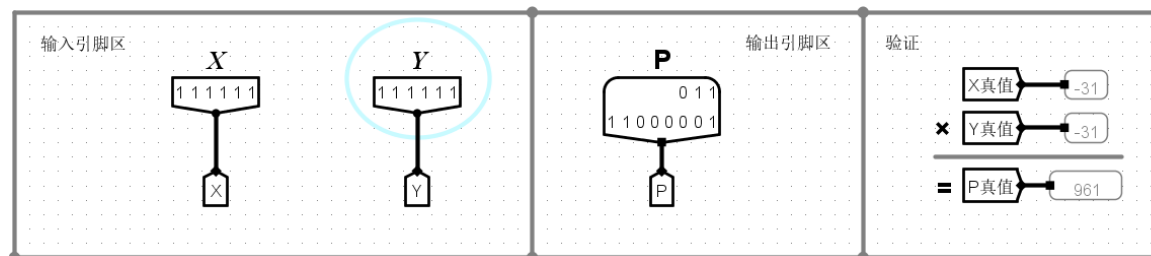
• X=正数, Y=负数, P=负数 (例如: X=31、Y=-31、P=-961)



• X=负数, Y=正数, P=负数 (例如: X=-31、Y=31、P=-961)



• X=负数, Y=负数, P=正数 (例如: X=-31、Y=-31、P=961)



6位补码阵列乘法器 (设计实验)

• 6位补码阵列乘法器（设计实验）

- 输入（6位）：X=X5,X4X3X2X1X0，Y=Y5,Y4Y3Y2Y1Y0；X=-32~+31；Y=-32~+31；
- 输出（12位）：P=P11,P10P9P8P7P6P5P4P3P2P1P0；P=-992~+1024；考虑到P的最大值为+1024，超出11位二进制数的表示范围，因此P用12位二进制数表示

• 请同学们利用前面的5位无符号阵列乘法器（可以是斜向，也可以是横向），实现6位补码阵列乘法器

• 思路：

- 请参考教材中的图3.14
- 如果X、Y为负数，先采用求补器将X、Y转换为5位无符号数，然后再采用5位无符号数阵列乘法器计算乘积
- 如果是正数与负数相乘，则需要通过求补器将乘积转换为补码

• 下列特殊情况，会产生错误的结果，需要单独处理（设计附加电路）：

- ①X=0，Y=负数；P=-1024；错误
- ②X=负数，Y=0；P=-1024；错误
- ③X=-32，Y=0或正数；P=-1024；错误
- ④X=0或正数，Y=-32；P=-1024；错误
- ⑤X=-32，Y=负数；P=0；错误
- ⑥X=负数，Y=-32；P=0；错误

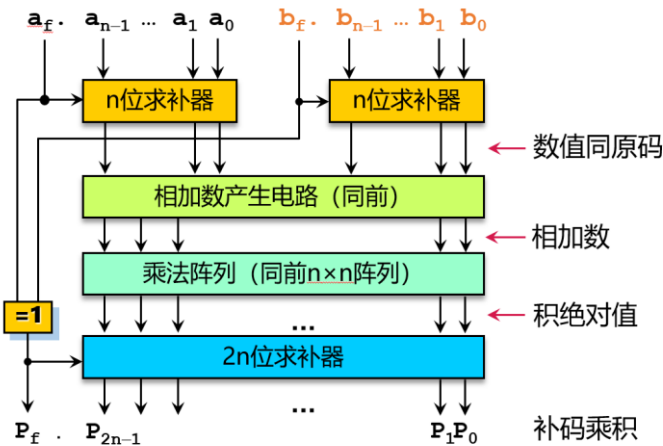
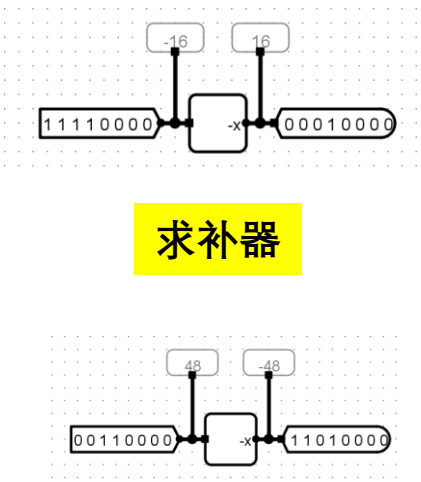
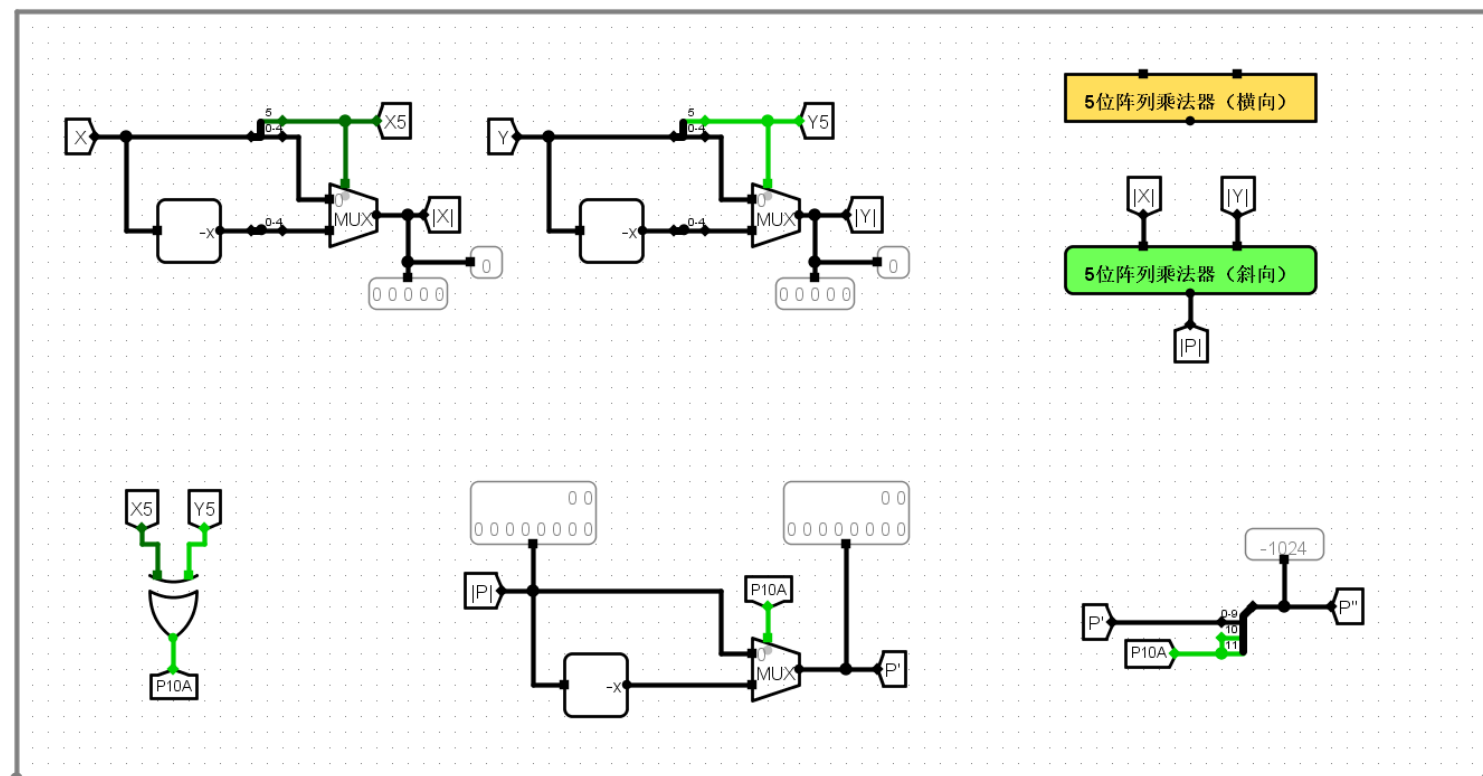


图3.14 补码阵列乘法器



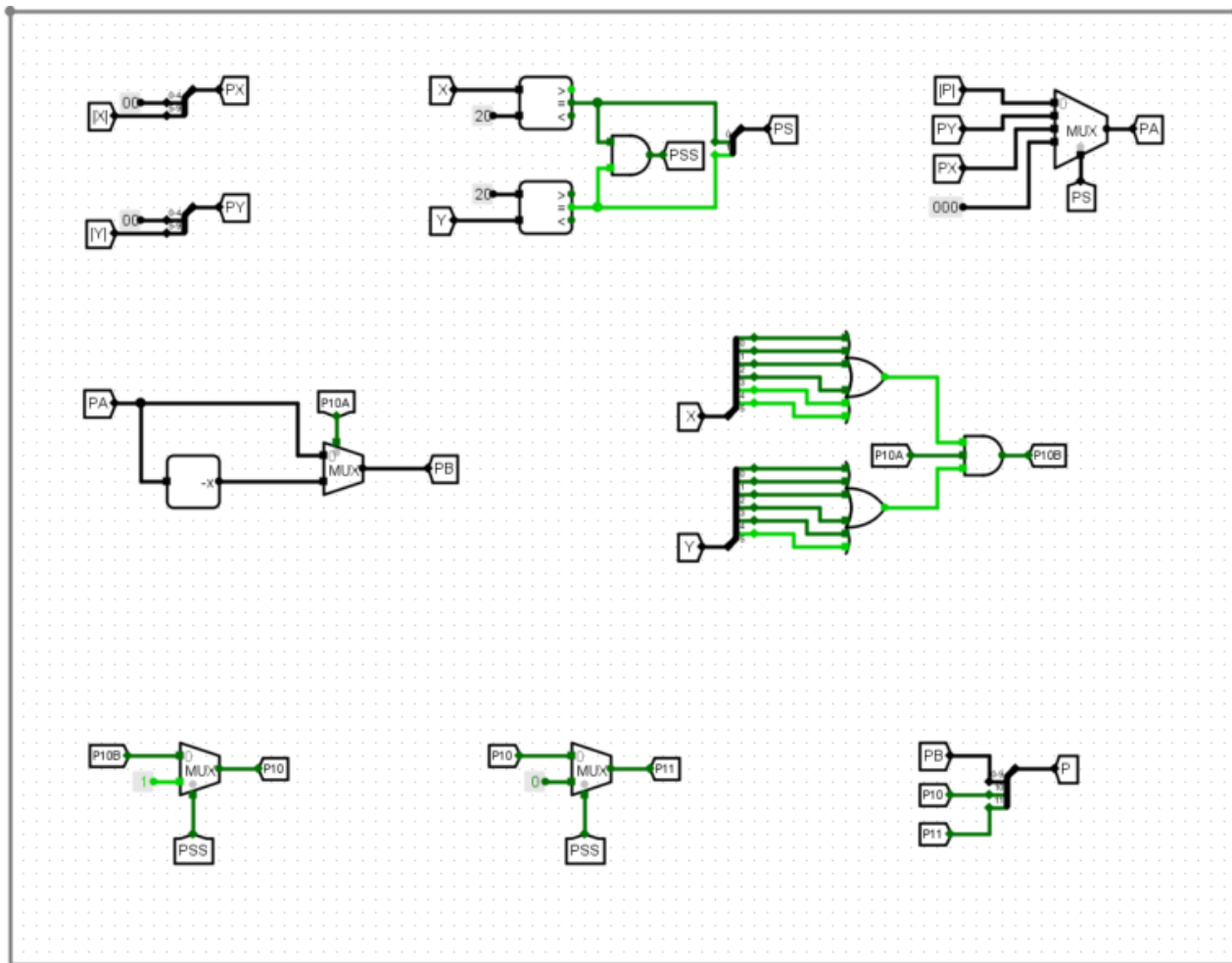
• 答案:

- 第一步: 获取X和Y的绝对值 ($|X|$ 、 $|Y|$, 都是5位) 以及符号位 (X_5 、 Y_5)
- 第二步: 绝对值相乘, 得到 $|P|$ (10位)
- 第三步: 计算乘积的符号 $P_{10A} = X_5 \oplus Y_5$
- 第四步: 获取 $|P|$ 的补数 P'
- 第五步: 将 P_{10A} 与 P' 拼接成 P''
- 该电路在以下情况会得到错误的结果:
 - ① $X=0$, Y =负数; $P''=-1024$; 错误
 - ② X =负数, $Y=0$; $P''=-1024$; 错误
 - ③ $X=-32$, $Y=0$ 或正数; $P''=-1024$; 错误
 - ④ $X=0$ 或正数, $Y=-32$; $P''=-1024$; 错误
 - ⑤ $X=-32$, Y =负数; $P''=0$; 错误
 - ⑥ X =负数, $Y=-32$; $P''=0$; 错误



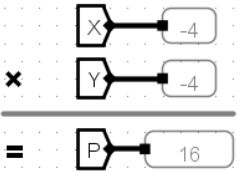
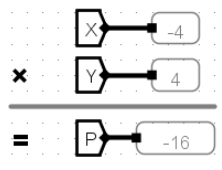
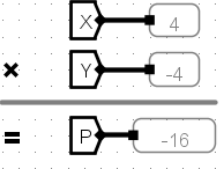
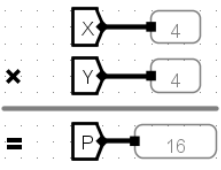
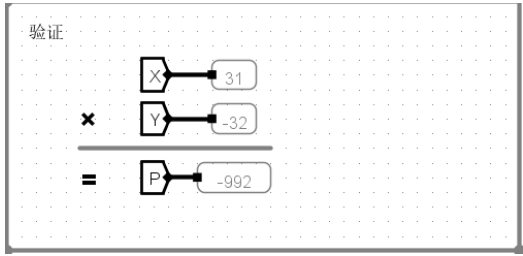
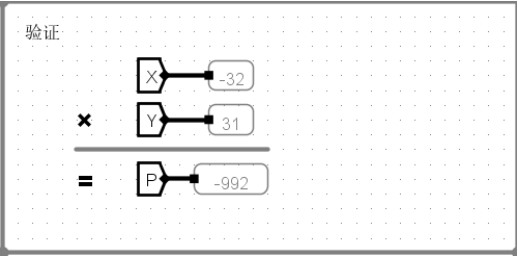
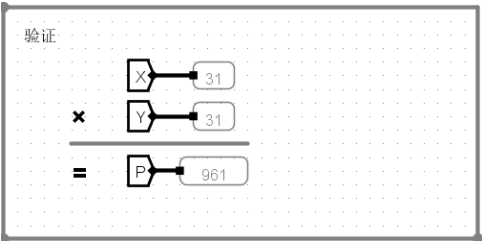
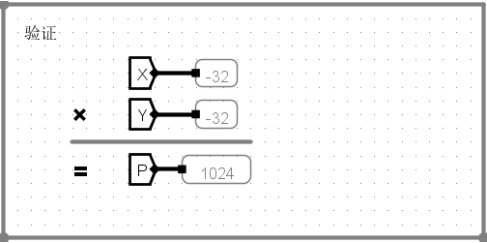
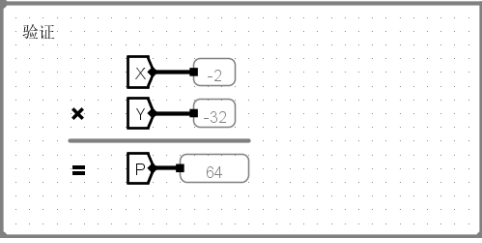
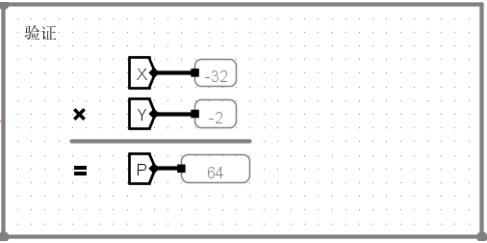
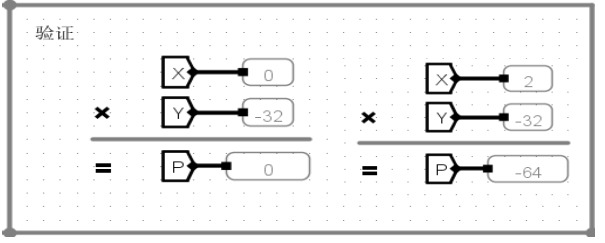
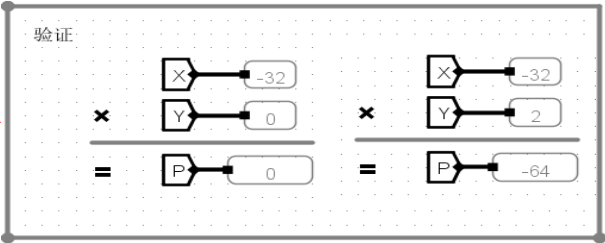
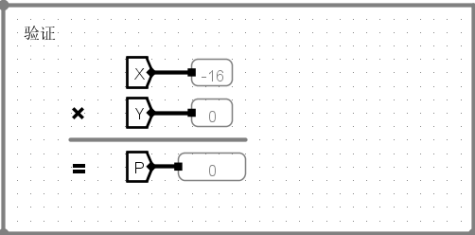
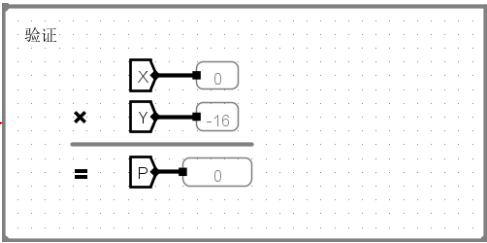
• 解决办法:

- 第一步: 计算PX、PY
 - ① $PX = |X| * 32$ (后面添加5个0)
 - ② $PY = |Y| * 32$ (后面添加5个0)
- 第二步: 计算PS、PSS (20H=-32)
 - ① $X \neq -32, Y \neq -32$: PS=00, PSS=0
 - ② $X = -32, Y \neq -32$: PS=01, PSS=0
 - ③ $X \neq -32, Y = -32$: PS=10, PSS=0
 - ④ $X = -32, Y = -32$: PS=11, PSS=1
- 第三步: 计算PA
 - ① 如果PS=00, $PA = |P|$
 - ② 如果PS=01, $PA = PY$
 - ③ 如果PS=10, $PA = PX$
 - ④ 如果PS=11, $PA = 0$
- 第四步: 计算PA的补数 (PB)
- 第五步: 计算P10B:
 - ① 如果X=0, P10B=0
 - ② 如果Y=0, P10B=0
 - ③ 如果X和Y符号相同, P10B=0
 - ④ 如果X和Y符号不同, 且X和Y都不为0, P10B=1
- 第六步: 计算P10、P11
 - ① 如果PSS=0, 则P10=P10B; 否则P10=1
 - ② 如果PSS=0, 则P11=P10; 否则P11=0
- 第七步: 将P11、P10、PB拼接成P



• 6位补码阵列乘法器的验证:

- ① X=0, Y=负数; P=0
- ② X=负数, Y=0; P=0
- ③ X=-32, Y=0或正数; P=正确的数
- ④ X=0或正数, Y=-32; P=正确的数
- ⑤ X=-32, Y=负数; P=正确的数
- ⑥ X=负数, Y=-32; P=正确的数
- ⑦ X=-32, Y=-32, P=1024
- ⑧ X=31, Y=31, P=961
- ⑨ X=-32, Y=31, P=-992
- ⑩ X=31, Y=-32, P=-992
- ⑪ X=正数, Y=正数; P=正确的数
- ⑫ X=正数, Y=负数; P=正确的数
- ⑬ X=负数, Y=正数; P=正确的数
- ⑭ X=负数, Y=负数; P=正确的数



8位原码一位乘法器 (设计实验)

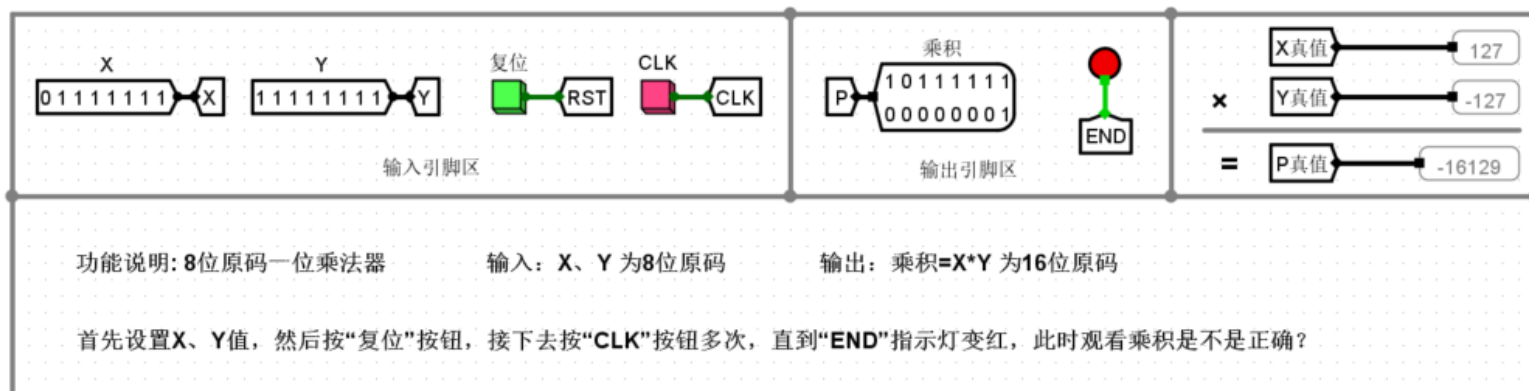
• 8位原码一位乘法器（设计实验）

- 输入：X（8位，原码）、Y（8位，原码）、复位（RST）、时钟（CLK）
- 输出：P（16位，原码）、运算结束指示灯（END）、X的真值、Y的真值、P的真值

• 请同学们根据前面的8位无符号数一位乘法器，设计8位原码一位乘法器

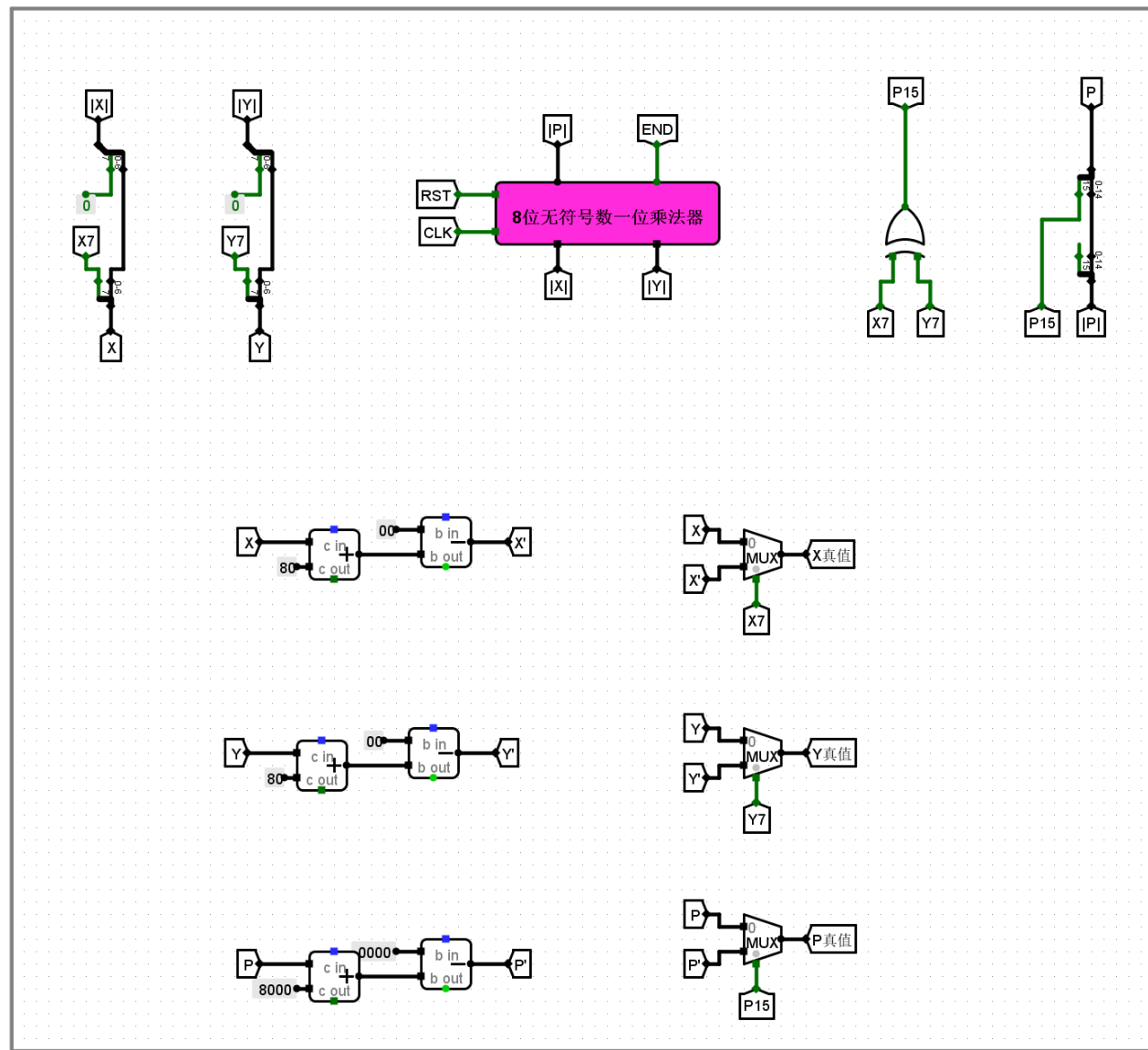
- **思路：**首先将8位原码（X和Y）转换为8位无符号数（绝对值， $|X|$ 和 $|Y|$ ），然后运用8位无符号数一位乘法器得到乘积（绝对值， $|P|$ ），再将乘积的绝对值转换为原码；乘积的符号位： $P_{15}=X_7 \oplus Y_7$

- **注意：**需要将X、Y、P的原码转换为**真值**进行显示



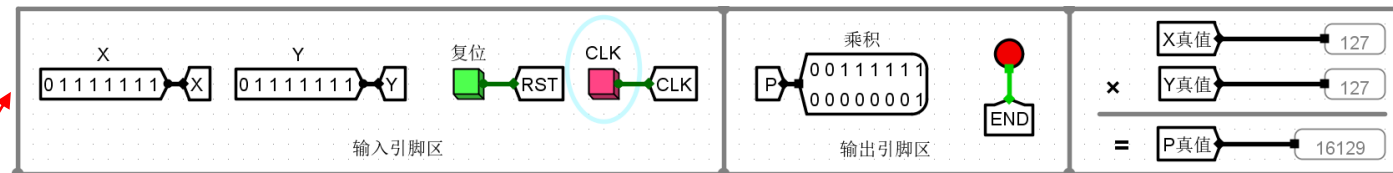
• 答案:

- 第一步: 获取X和Y的绝对值 ($|X|$ 和 $|Y|$, 都是8位) 和符号位 (X_7 、 Y_7)
- 第二步: 由 $|X|$ 和 $|Y|$, 得到乘积 $|P|$ (16位)
- 第三步: 计算乘积的符号 $P_{15}=X_7 \oplus Y_7$
- 第四步: 将 P_{15} 和 $|P|$, 拼接成 P (16位)
- 第五步: 根据 X 、 Y , 计算 X 、 Y 的真值
 - 如果 X 为正数, X 真值= X
 - 如果 X 为负数, 例如 $X=-127$ (原码) $=1111\ 1111=-1$ (补码), X 真值 $=0-(X+80H)=0-(X+128)=-127$ (补码)
- 第六步: 根据 P , 计算 P 的真值
 - 如果 P 为正数, P 真值= P
 - 如果 P 为负数, 例如 $P=-16129$ (原码) $=1011\ 1111\ 0000\ 0001=-16639$ (补码), P 真值 $=0-(P+8000H)=0-(P+32768)=-16129$ (补码)

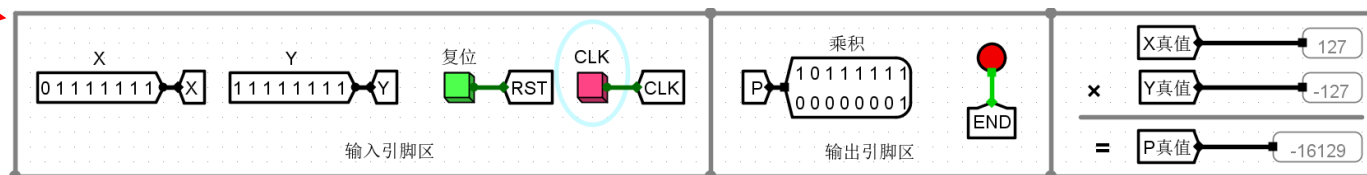


• 8位原码一位乘法器的验证:

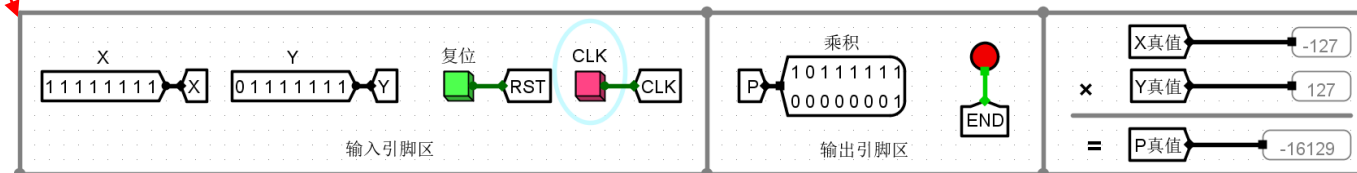
• X=正数, Y=正数, P=正数 (例如: X=127、Y=127、P=16129)



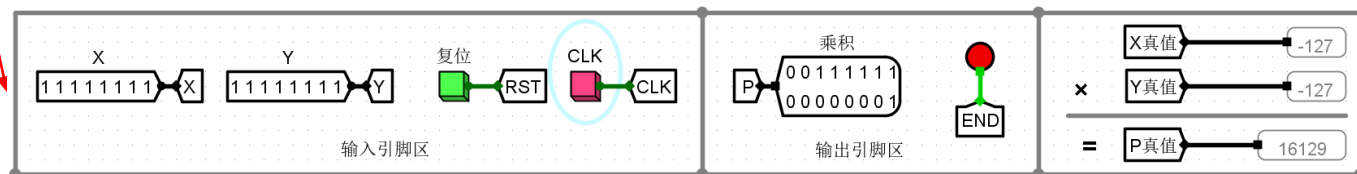
• X=正数, Y=负数, P=负数 (例如: X=127、Y=-127、P=-16129)



• X=负数, Y=正数, P=负数 (例如: X=-127、Y=127、P=-16129)



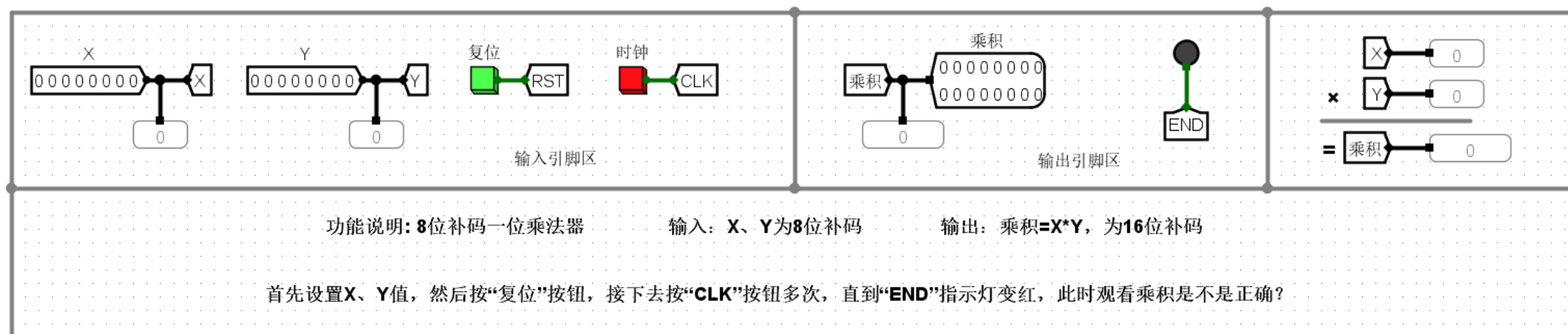
• X=负数, Y=负数, P=正数 (例如: X=-127、Y=-127、P=16129)



8位补码一位乘法器 (采用8位无符号一位乘法器实现)
(挑战性实验)

• 8位补码一位乘法器（用8位无符号数一位乘法器实现）（挑战性实验）

- 输入：X（8位，补码）、Y（8位，补码）、复位（RST）、时钟（CLK）
- 输出：乘积（16位，补码）、运算结束指示灯（END）

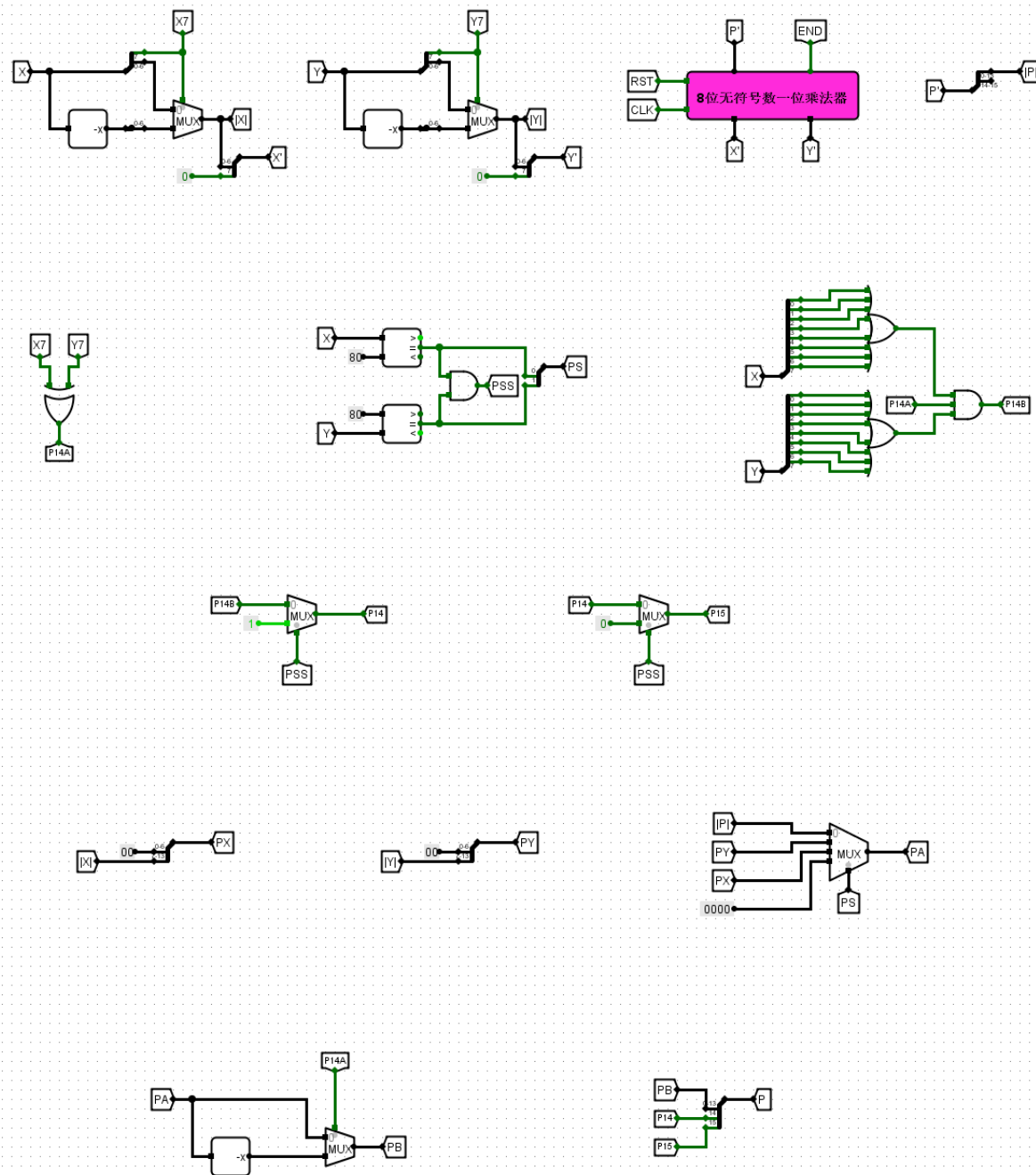


请同学们在此处设计电路！

8位补码一位乘法器（用8位无符号数一位乘法器实现）

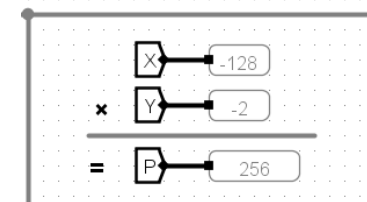
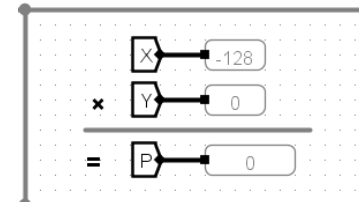
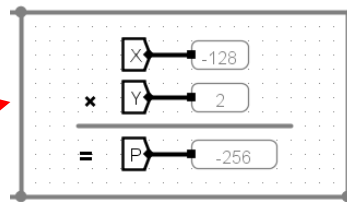
• 答案:

- 第一步: 获取X、Y的绝对值 ($|X|$ 、 $|Y|$, 都是7位; X' 、 Y' , 都是8位), 以及符号位 (X_7 、 Y_7)
- 第二步: 由 X' 、 Y' , 计算 P' (16位) 和 $|P|$ (14位)
- 第三步: 计算乘积的符号 $P_{14A}=X_7 \oplus Y_7$
- 第四步: 计算PS和PSS (80H=-128)
 - ① $X \neq -128, Y \neq -128$: 则 $PS=00$ 、 $PSS=0$
 - ② $X=-128, Y \neq -128$: 则 $PS=01$ 、 $PSS=0$
 - ③ $X \neq -128, Y=-128$: 则 $PS=10$ 、 $PSS=0$
 - ④ $X=-128, Y=-128$: 则 $PS=11$ 、 $PSS=1$
- 第五步: 计算 P_{14B} :
 - 如果 $X=0$, 则 $P_{14B}=0$ 如果 $Y=0$, 则 $P_{14B}=0$
 - 如果X和Y符号相同, 则 $P_{14B}=0$ 如果X和Y符号不同, 且X和Y都不为0, 则 $P_{14B}=1$
- 第六步: 计算 P_{14} 、 P_{15}
 - ① 如果 $PSS=0$, 则 $P_{14}=P_{14B}$; 否则 $P_{14}=1$
 - ② 如果 $PSS=0$, 则 $P_{15}=P_{14}$; 否则 $P_{15}=0$
- 第七步: 计算 P_X 、 P_Y (都是14位)
 - $P_X = |X| \ 0000000$ $P_Y = |Y| \ 0000000$
- 第八步: 计算 P_A (14位)
 - 如果 $PS=00$, $P_A=|P|$ 如果 $PS=01$, $P_A=P_Y$
 - 如果 $PS=10$, $P_A=P_X$ 如果 $PS=11$, $P_A=0$
- 第九步: 计算 P_A 的补数 (P_B , 14位)
- 第十步: 将 P_{15} 、 P_{14} 、 P_B 拼接成 P (最终的乘积)

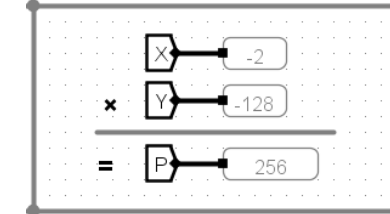
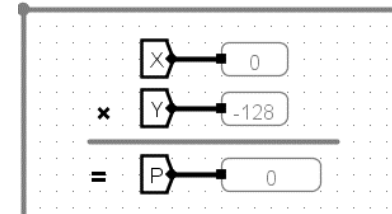
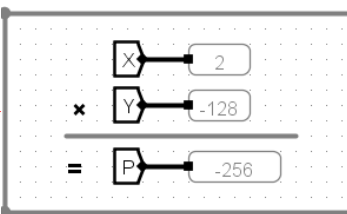


• 8位补码一位乘法器（用8位无符号数一位乘法器实现）的验证：

• X=-128, Y=其他, P是否正确?



• X=其他, Y=-128, P是否正确?



• X=0, Y=非0, P是否=0?

• X=非0, Y=0, P是否=0?

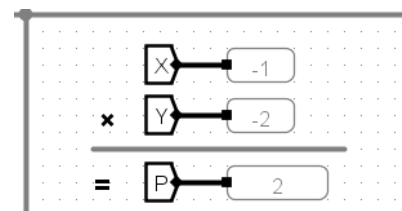
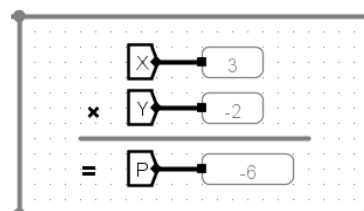
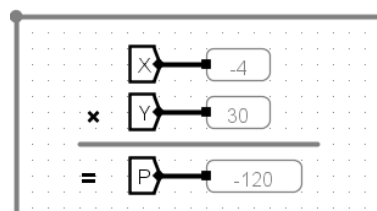
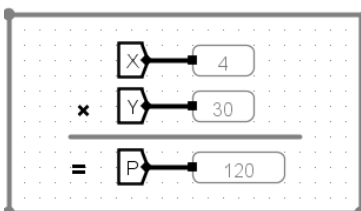
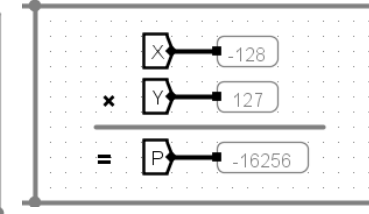
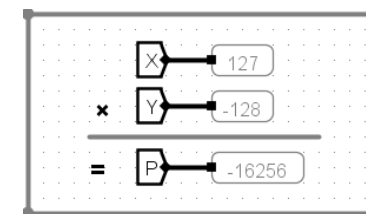
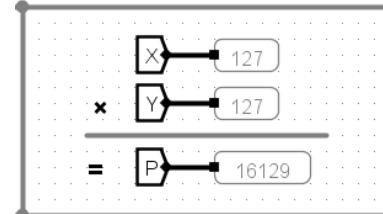
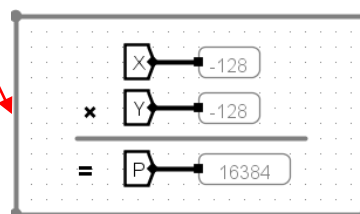
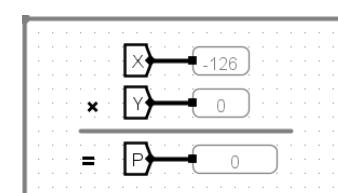
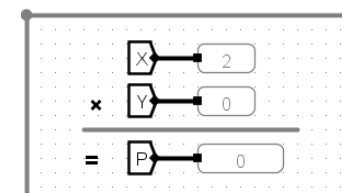
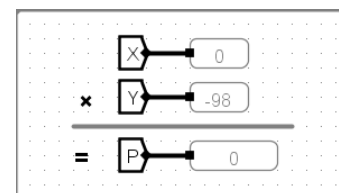
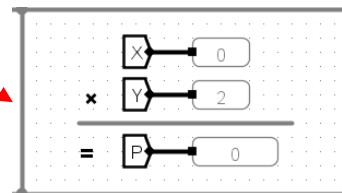
• X=-128, Y=-128, P是否=16384?

• X=127, Y=127, P是否=16129?

• X=127, Y=-128, P是否=-16256?

• X=-128, Y=127, P是否=-16256?

• X=其他, Y=其他, P是否正确?



Thanks