

中国科学院大学网络空间安全学院
计算机组成与结构研讨课
实验报告

实验序号： 2 实验名称： 运算器设计

1 实验电路图

1.1 实验电路图

32 位快速加法器实验电路图如下图所示：

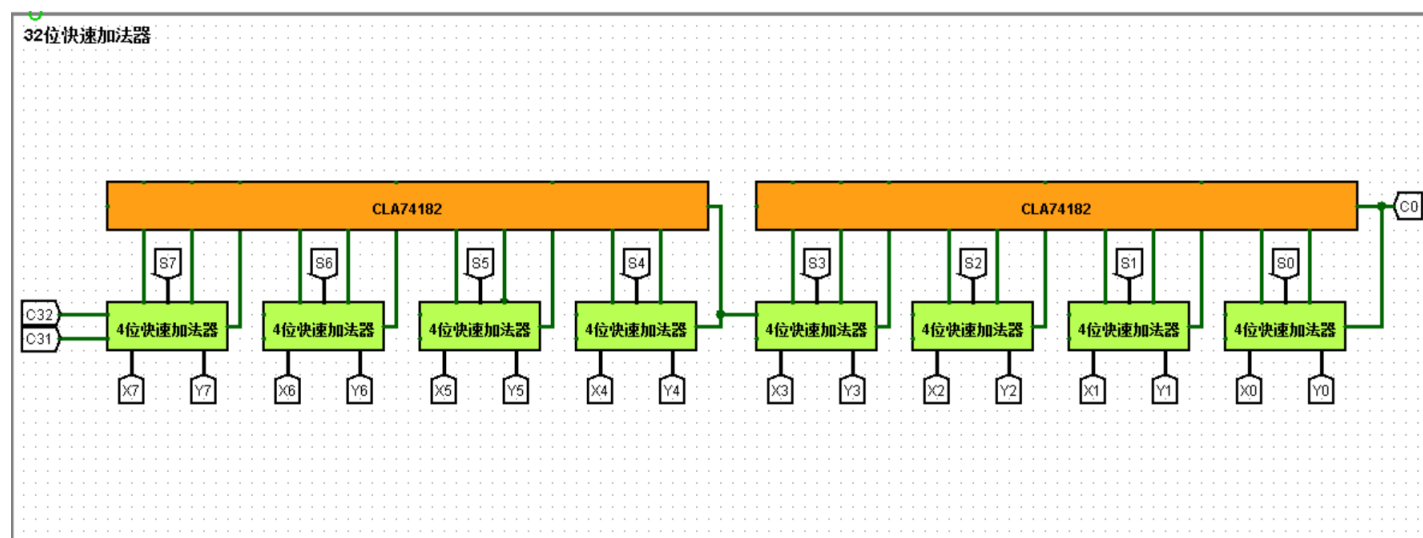


图 1: 32 位快速加法器

5 位无符号乘法流水线实验电路图如下图所示：

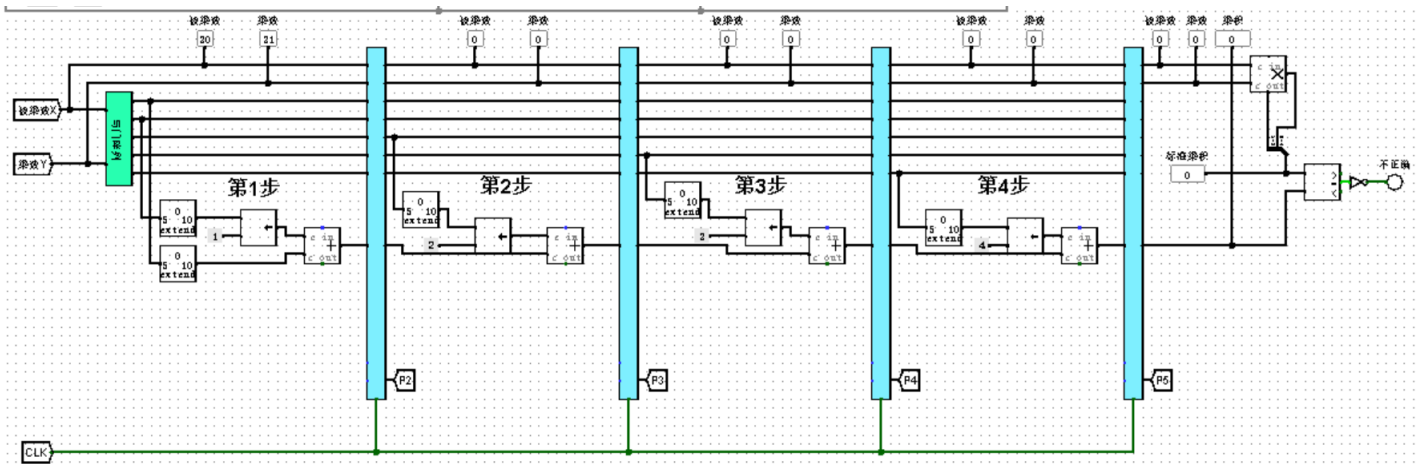


图 2: 5 位无符号乘法流水线

原码一位乘法器实验电路图如下图所示：

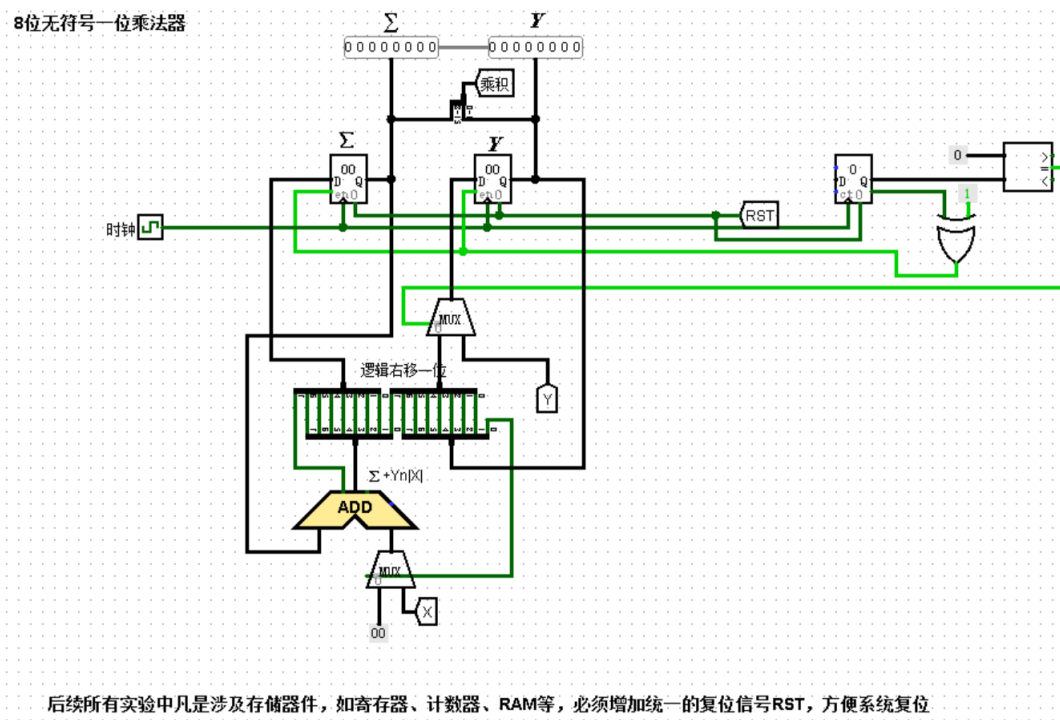


图 3: 原码一位乘法器

32 位 MIPS 运算器实验电路图如下图所示：

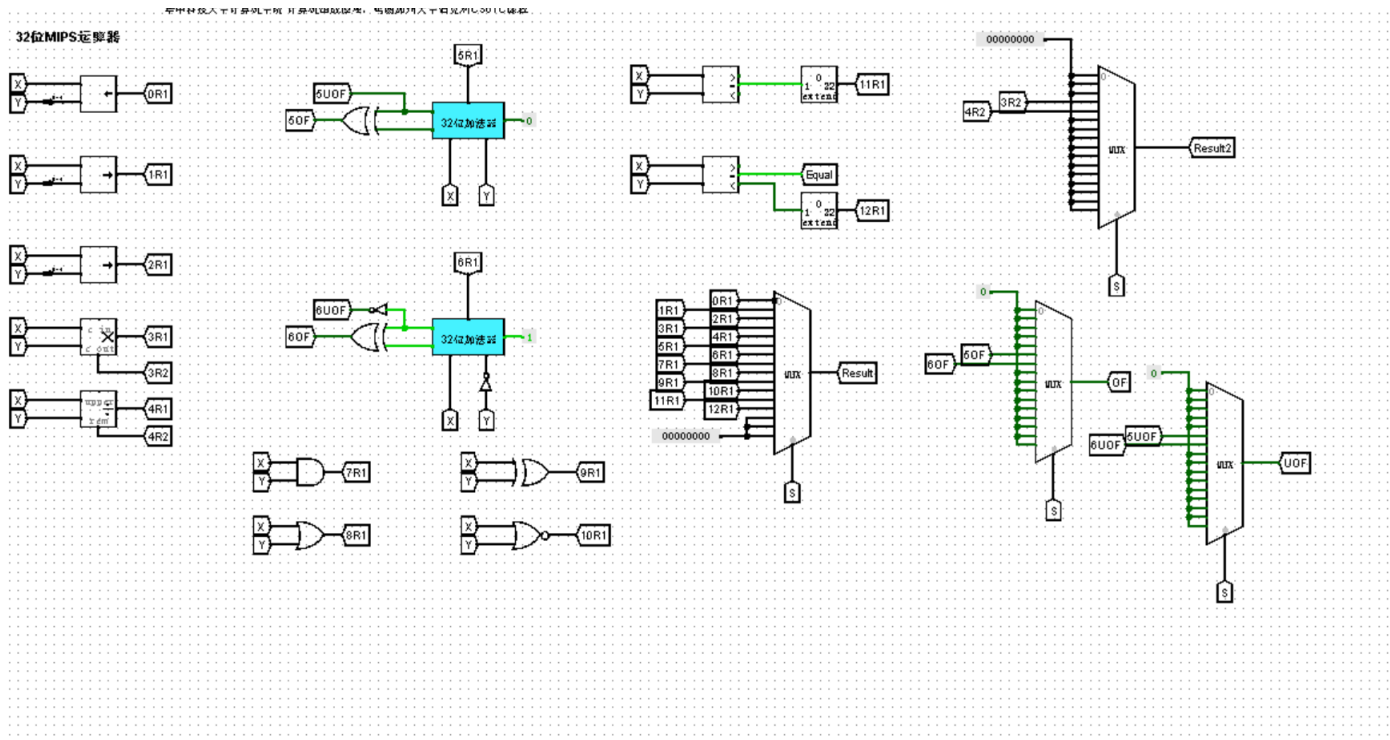


图 4: 32 位 MIPS 运算器

1.2 电路设计思路

1.2.1 32 位快速加法器

将 32 位数分为 8 组，每一组为一个 4 位数，通过四位快速加法器计算 $X_i + Y_i$ 得到 S_i ，并生成成组进位传递函数 G^*, P^* 及进位信号 C_i 。CLA74182 是一个 4 位进位前瞻加法器，用于加速进位的计算。将 4 位快速加法器生成的 C_i, G^*, P^* 与 CLA74182 对应的端口相连接，最终将两块 CLA74182 串联，即可完成设计。

1.2.2 5 位无符号乘法流水线

由于乘法结果为 10 位数，所以需要先使用扩展器将 5 位数据扩展为 10 位。接下来参考下面的公式，每一步均重复被乘数左移再与结果相加的步骤，即可完成乘法流水线设计。

$$\Sigma = XY0 + XY1 * 2$$

$$\Sigma+ = XY2 * 4$$

$$\Sigma+ = XY3 * 8$$

$$\Sigma+ = XY4 * 16$$

1.2.3 原码一位乘法器

参考计算机组成与结构课上 PPT，原码一位乘法器的时序电路图如下图所示：

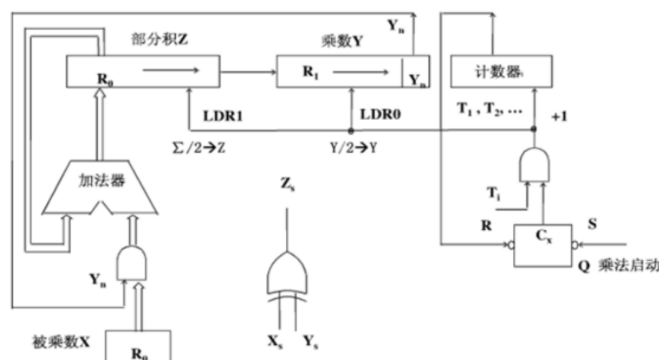


图 5: 原码一位乘法器的时序电路图

乘数依次从最低位乘以被乘数，然后和部分积进行累加。在进行累加时，因为每次做完乘法都是高一位的，所以可以把部分积右移一位，这样就可以实现对齐。另外，丢掉的那一位可以存在乘数寄存器的最高位，这样每次右移丢掉的一位都在最前列。在运行 8 次后，第一次丢掉的刚好到达最低位。

乘法部分如果 $Y_i = 0$ ，则结果为 0，如果 $Y_i = 1$ ，则结果为 X 。可知乘法可以用数据选择器实现。对运算次数进行控制，在第 0 次运算时，把 Y 载入乘数寄存器中。在第 8 次运算后停止运算。

1.2.4 32 位 MIPS 运算器

参考 CSDN 博主用草书谱写兰亭序的文章，32 位 MIPS 运算器设计思路为：

先构造出每一种功能的输出，再根据 OP 的值来选择输出：

0-2：分别用一个移位器实现，设置对应的属性；

3-4：分别用自带的乘法器、除法器实现；

5：加法，用封装好的 32 位加法器，OF 判断最高位进位和符号位进位是否一致，UOF 判断是否有进位（需一个异或门），C0 取 0；

6：减法，用封装好的 32 位加法器，Y 取反用一个非门实现，无符号数的减法溢出，带加减功能的 ALU 的进位取反后表示，有符号数的减法溢出，仍然用最高位和符号位是否相等来判断，C0 取 1；

7-10：分别用与门、非门、异或门、或非门实现；

11：比较器用补码型，结果 0 拓展；

12：比较器用无符号型，结果 0 拓展，还需要一个 equal 信号；

都构造好之后，根据 OP 的值输出 result。

2 实验中遇到的问题

1. 位宽不匹配。

在本次实验中多次出现了位宽不匹配的问题，这要求我们必须掌握元件的输入和输出数据位宽，不断调整，保证电路的正确。

2. 电路复杂程度高。

本次实验较第一次实验电路复杂程度明显提高，且绝大部分电路只能手动连接，因此操作时非常考验耐心和细心。同时，为了减轻工作量，使电路更简洁美观，可以使用隧道标签来辅助连线。

3. 32 位 MIPS 运算器设计困难。

起初在设计 32 位 MIPS 运算器时实在无从下手，在网上查阅资料后逐步明确了设计思路：明确运算器的各个功能，再分别构造运算器的各个功能，最后由 OP 值输出 result。同时在设计时使用隧道标签，简化电路图，使电路图更简洁明了。

3 实验心得

通过本次实验，我最大的收获是逐步掌握了隧道标签的使用技巧。在电路设计过程中，我深刻体会到隧道标签在简化复杂电路连接方面的重要作用。通过反复练习，我学会了如何合理设置隧道标签名称、有效管理信号传输路径，这不仅提高了电路图的可读性，也大大提升了我的设计效率。

同时，这次实验也让我吸取了宝贵的教训。在尝试使用自动生成电路功能时，我发现该操作无法正确覆盖所有引脚连接，导致部分信号传输出现问题。更值得注意的是，即使立即撤回该操作，其对引脚配置造成的影响依然存在。最终我只能通过重新下载实验模板来恢复初始设置，这既耗费时间也影响了实验进度。这个教训让我明白，在未来的实验中应当更加谨慎操作，并养成定期保存和备份设计文件的习惯，以防意外情况发生。