

实验课程名称	数字逻辑与计算机组成实验	成绩	
实验项目名称	实验 4 CPU 指令设计实验	指导老师	

### 一、实验目的

- 1、理解指令类型与指令格式之间的关系，掌握取指部件、指令解析和立即数扩展器的设计方法。
- 2、理解随机访问存储器 RAM 和只读存储器 ROM 的操作原理。
- 3、理解每条目标指令的功能和数据通路，掌握单周期处理器的控制器设计方法。（选做）

### 二、实验要求

- 1、电路图合理布局，适当添加标识符和注释文字，便于理解；
- 2、利用仿真测试，验证电路功能正确；
- 3、根据本次实验内容的要求，给出实验操作步骤，包括必要的电路原理图、实验结果、功能测试、错误现象及原因分析等内容写入实验报告。
- 4、将实验报告和电路图.circ 文件上交，文件名为学号，如 200640001.docx、200640001.circ，所有题目的电路合在一个文件中。

### 三、实验内容

#### 1、实验测试指令数据的准备

从指令存储器的地址第 12 单元开始，依次写入以下 5 条机器指令：

机器指令二进制代码	16进制	汇编指令	类型
0000 0000 0000 0000 0001 00101 0110111	0x000012b7	lui x5, 1	U
1111 1111 1111 00101 000 00101 0010011	0xffff28293	addi x5, x5, -1	I
0000010 11101 11100 001 10000 1100011	0x05de1863	bne x28,x29,label1	B
0010 1000 1000 0000 0000 00001 1101111	0x288000ef	jal ra, printf	J
0000000 00001 00010 010 01100 0100011	0x00112623	sw ra,12(sp)	S

自行编写数据镜像文件，然后导入存储器。

数据镜像文件格式要求：首行以 v2.0 raw 开头，下一行开始存放数据，数据位宽为 32 位时，每一个位置存放 4 个字节的数据，以空格或回车隔开。连续相同的重复数字可简化表示，如 12\*0，表示连续 12 个 0。

代码镜像文件示例：

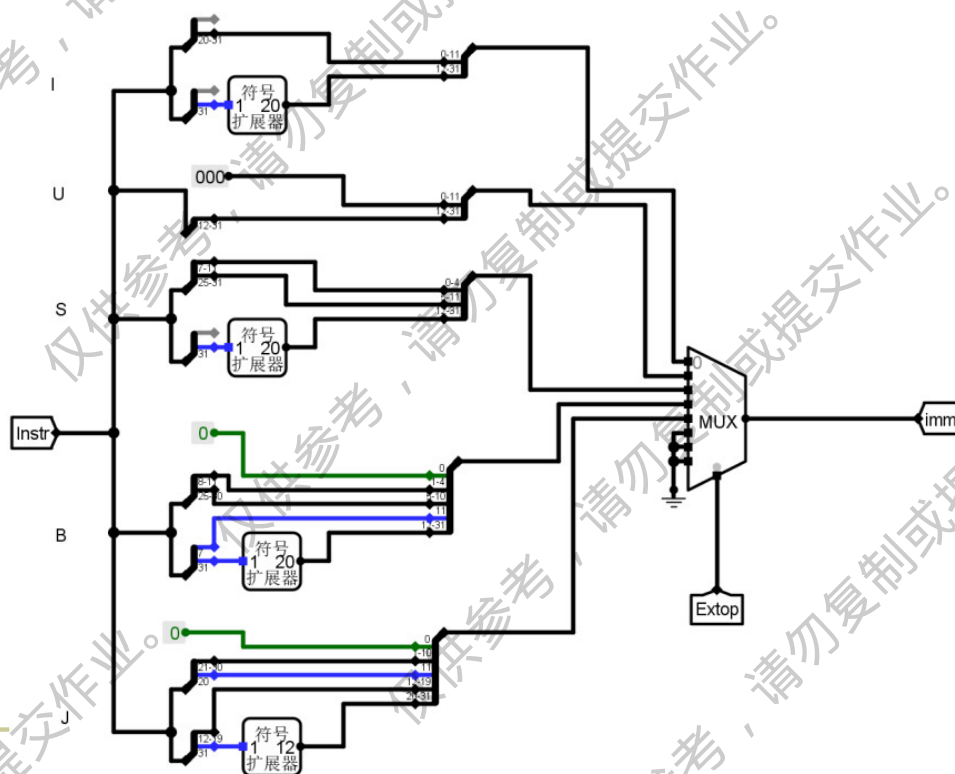
v2.0 raw

12\*0 000012b7 fff28293 05be1863 288000ef 00112623

已知 RISC-V 指令格式如图所示：

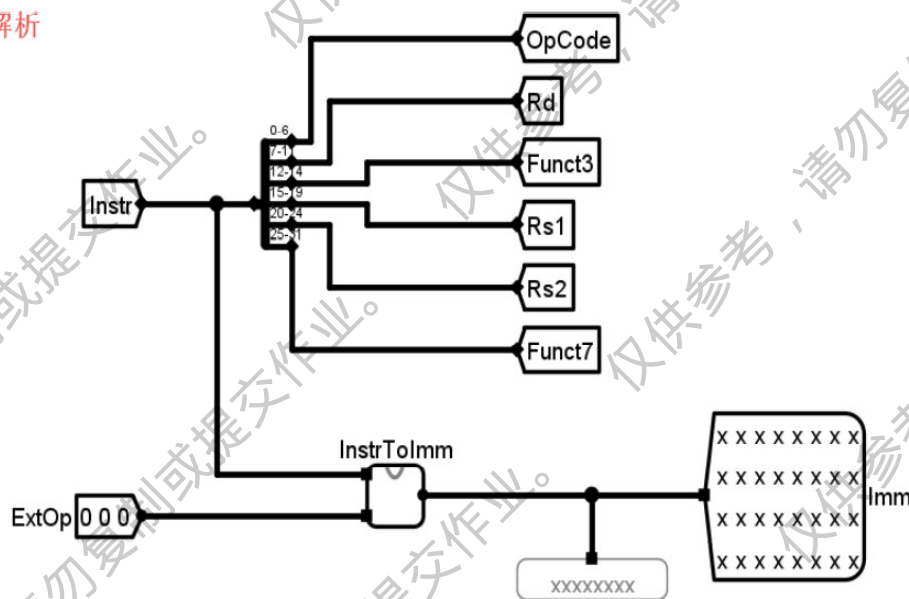
	31	27	26	25	24	20	19	15	14	12	11	7	6	0
R	funct7				rs2			rs1		funct3		rd		opcode
I	imm[11:0]					rs1			funct3		rd		opcode	
S	imm[11:5]				rs2			rs1		funct3		imm[4:0]		opcode
B	imm[12 10:5]				rs2			rs1		funct3		imm[4:1 11]		opcode
U	imm[31:12]											rd		opcode
J	imm[20 10:1 11 19:12]											rd		opcode

2、设计立即数扩展器，对指令中的立即数字段进行扩展生成 32 位立即数。  
参考电路如图所示：



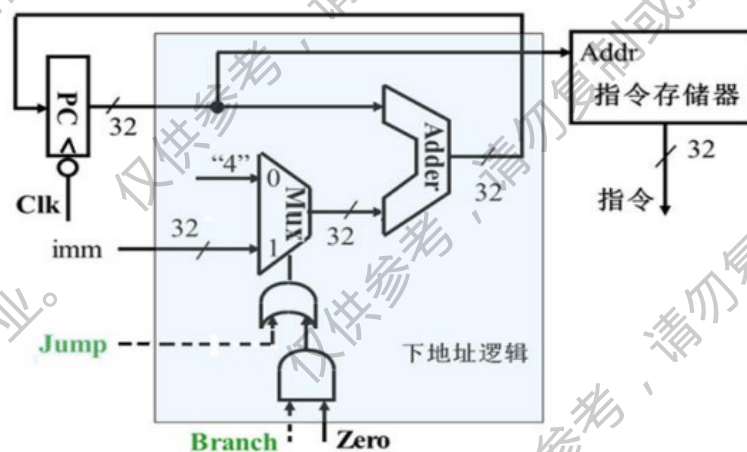
3、设计指令解析电路，将指令分解出 opcode、rd、funct3、rs1、rs2 和 funct7 字段。参考电路如图所示：

### 指令解析



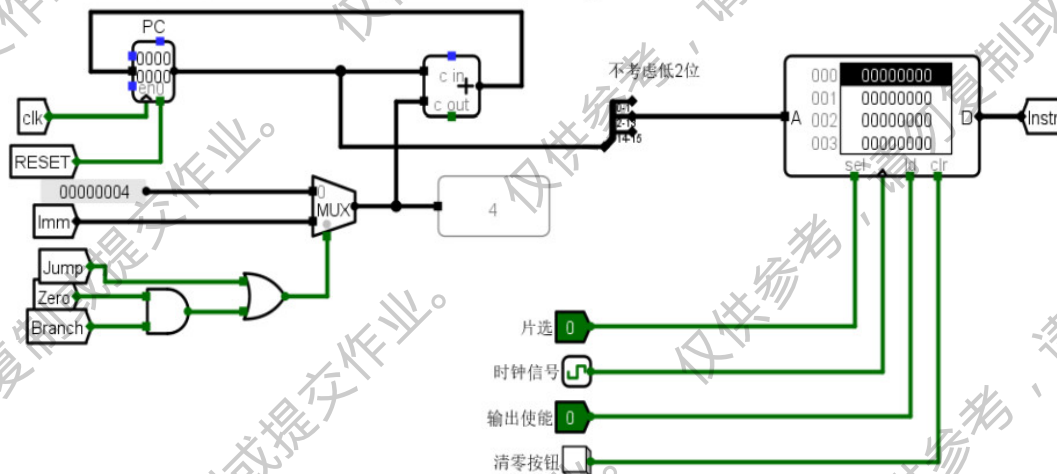
4、设计取指令部件，包括指令从存储器中的读取，PC 的更新。其中，指令存储器可采用 Logisim 中的 ROM 组件实现，要求指令存储器容量为 16KB（地址位宽 12 位，即 A[11:0]，数据位宽 32 位，按字编址），指令字长为 32 位。

在程序设计中指令和数据寻址，都是以字节为单位，因而在 Logisim 中读取指令存储器时，最低 2 位地址舍弃；由于 ROM 地址编码定义为 12 位地址位宽，因而 32 位指令地址 PC[31:0]中高 18 位地址也舍弃。只需把 PC[13:2]赋值到 A[11:0]，其余的位皆无关。原理如图所示：

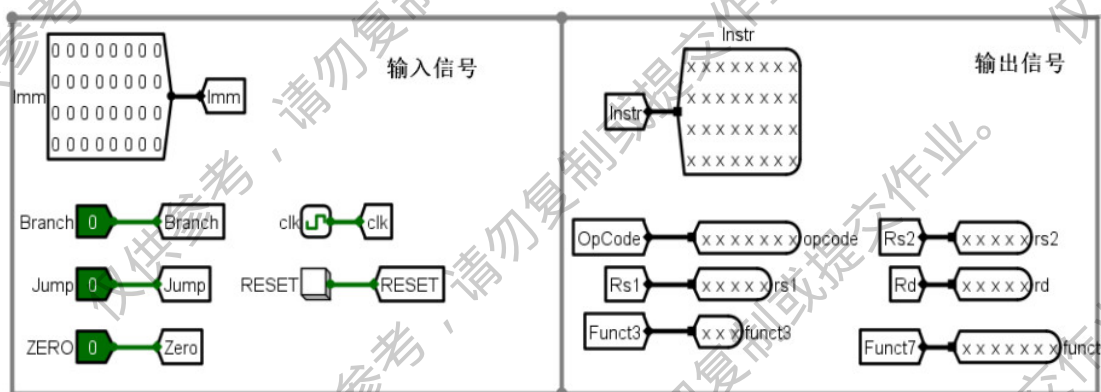


参考电路如图所示：

因为存储器大小限制，地址位设置为10位，同时由于指令字长32位，地址最低2位截除。



5、设计输入输出信号的观测窗口。为了便于检测输入输出数据是否正确，在主要电路图的上方设计观测窗口，采用隧道方式将信号引出，便于集中观察。参考电路如图所示：



6、测试。在指令存储器上加载代码镜像文件，读取到指令存储器 12 处的指令时，观察输出结果，是否符合以下标准：

第 1 条 ExtOp 设置为 001: Opcode=0110111, rs2=00000, funct3=001, rd=00101, rs1=00000, funct7=000000, Imm=0x00001000。

第 2 条 ExtOp 设置为 000: Opcode=0010011, rs2=11111, funct3=000, rd=00101, rs1=00101, funct7=1111111, Imm=0xffffffff。

第 3 条 ExtOp 设置为 011: Opcode=1100011, rs2=11011, funct3=000, rd=10000, rs1=11100, funct7=000010, Imm=0x00000050。

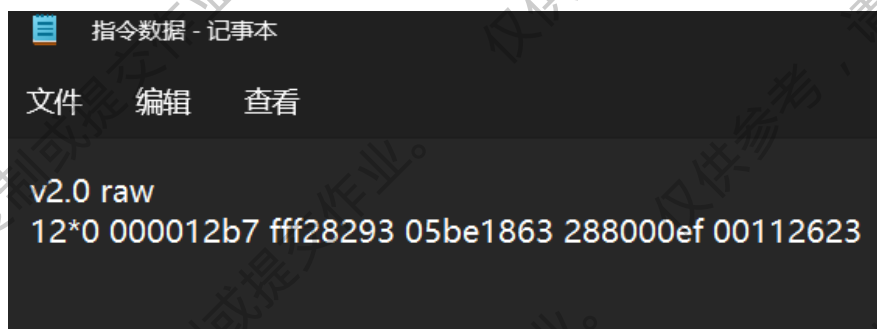
第 4 条 ExtOp 设置为 100: Opcode=110111, rs2=01000, funct3=000, rd=00001, rs1=00000, funct7=0010100, Imm=0x00000288。

第 5 条 ExtOp 设置为 010: Opcode=0100011, rs2=00001, funct3=010, rd=01100, rs1=00010, funct7=0000000, Imm=0x0000000c。

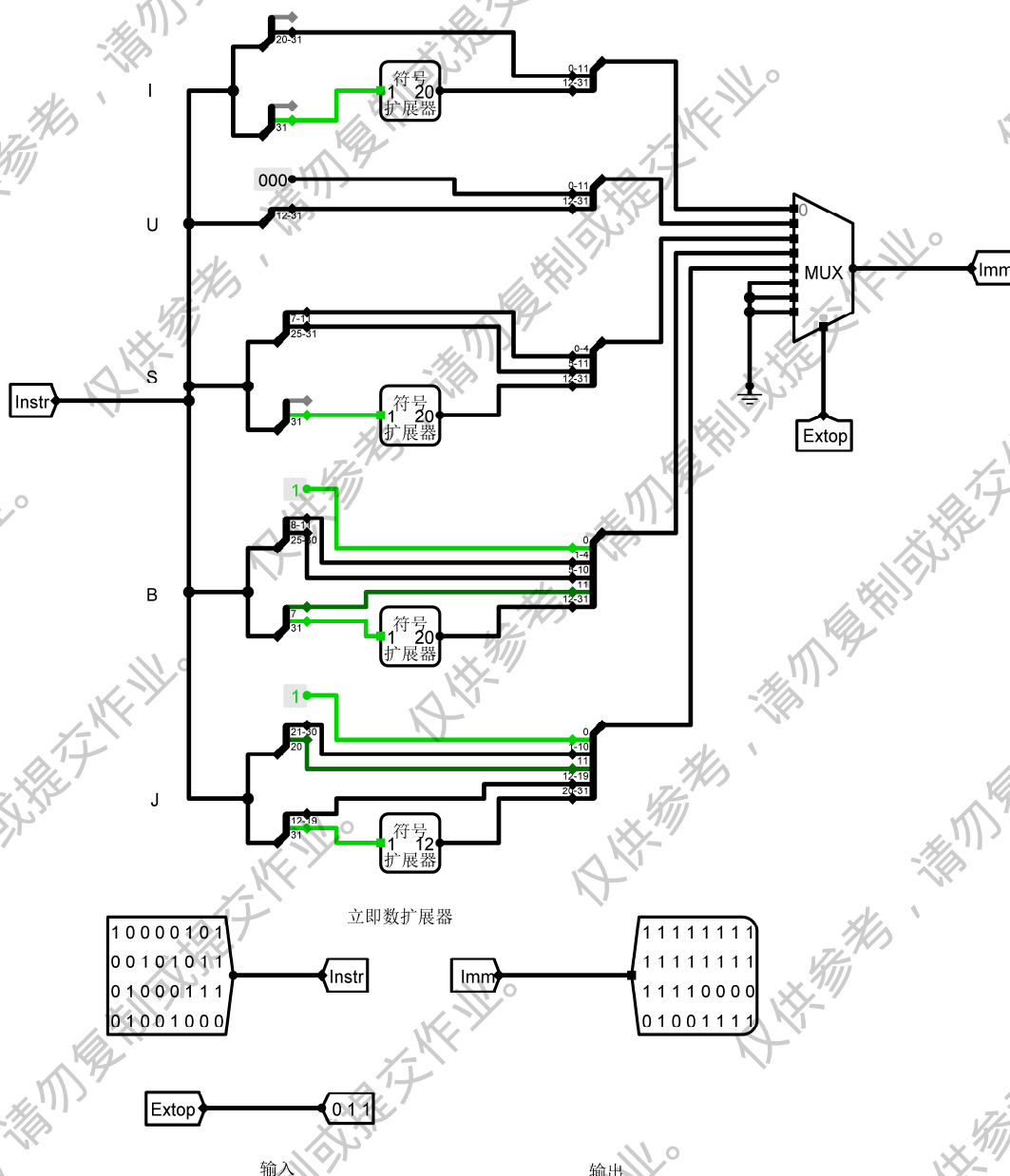
7、设计指令控制器，可参考所给资料（选做）。

#### 四、实验步骤及结果

##### 1、实验测试指令数据的准备

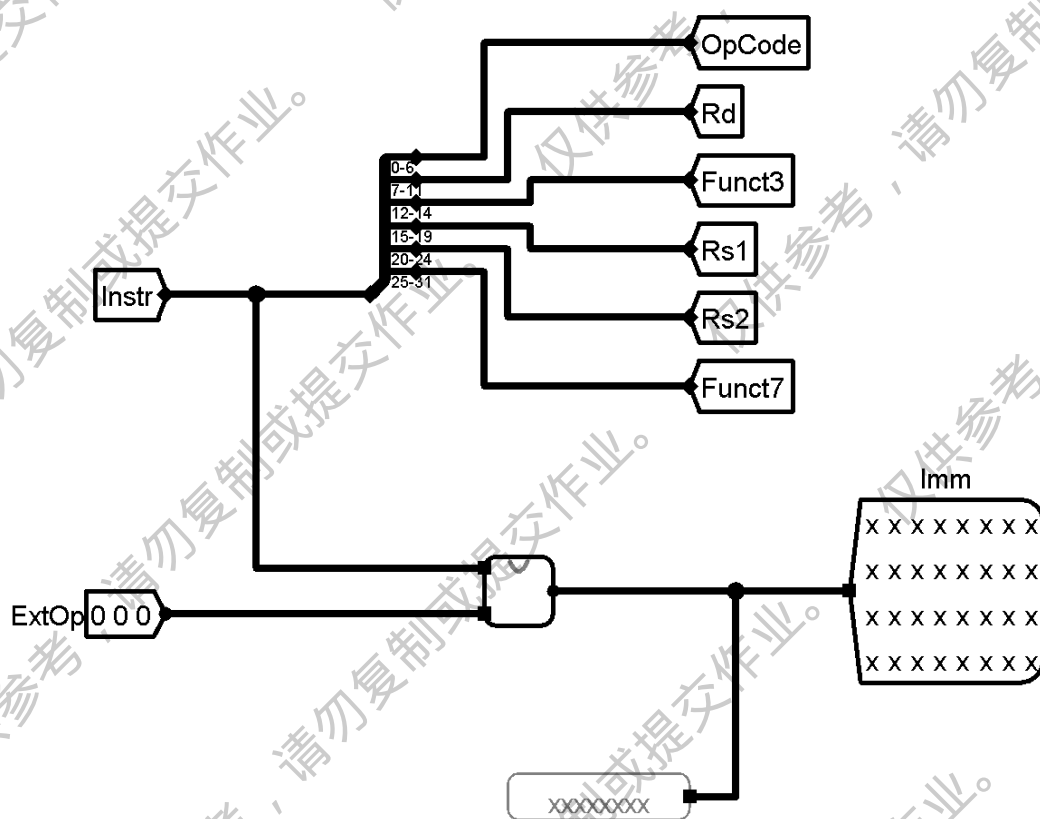


##### 2、设计立即数扩展器



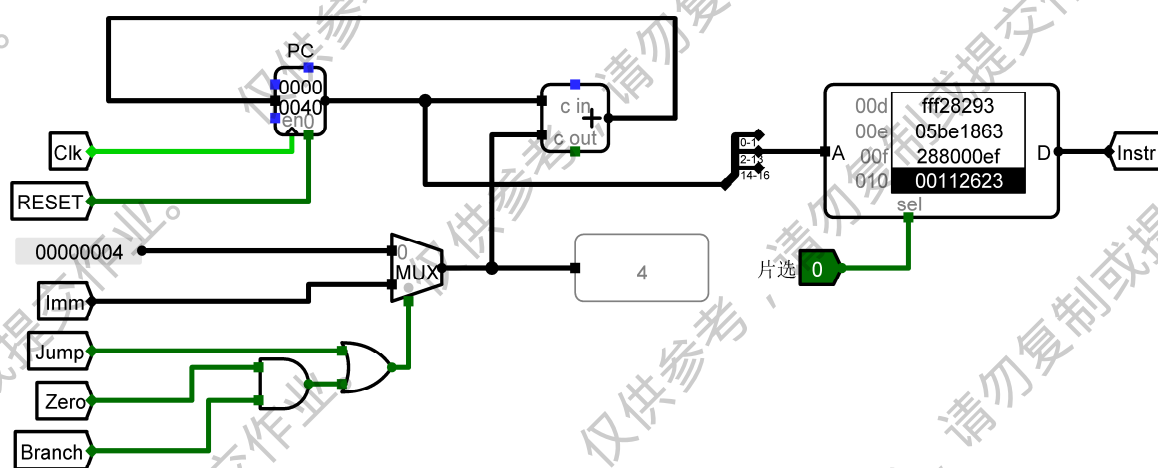


### 3、设计指令解析电路



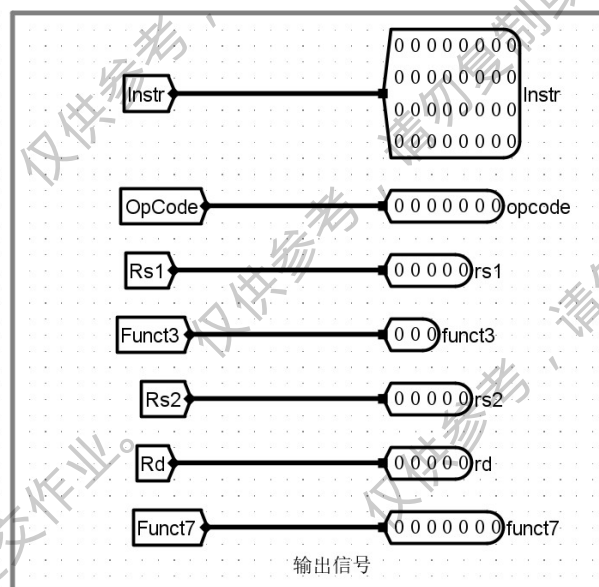
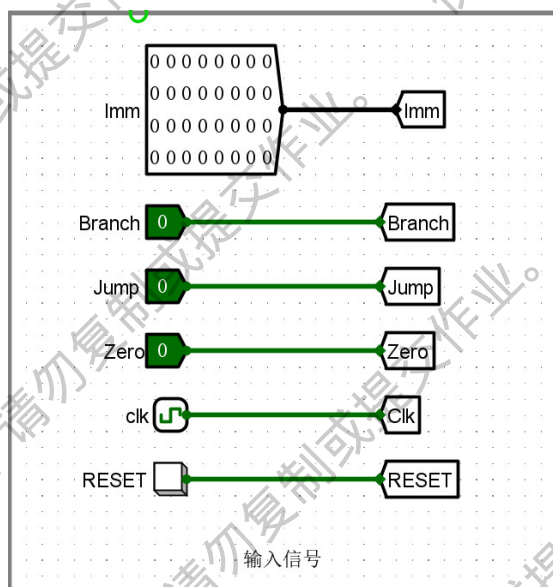
指令解析部件

### 4、设计取指令部件



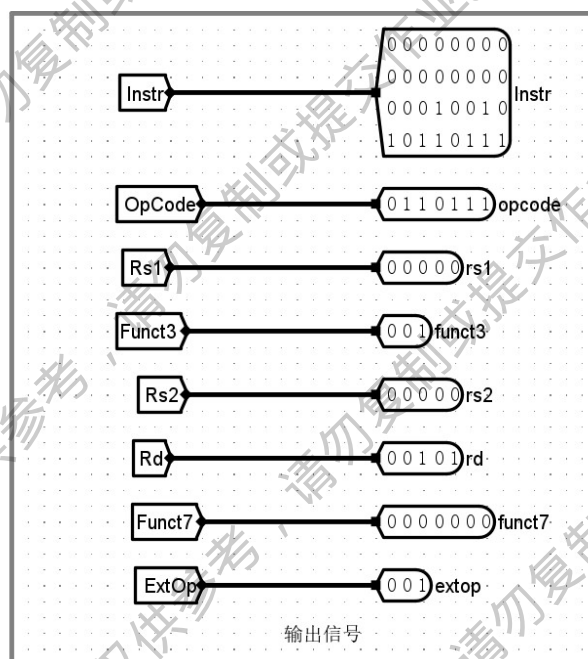
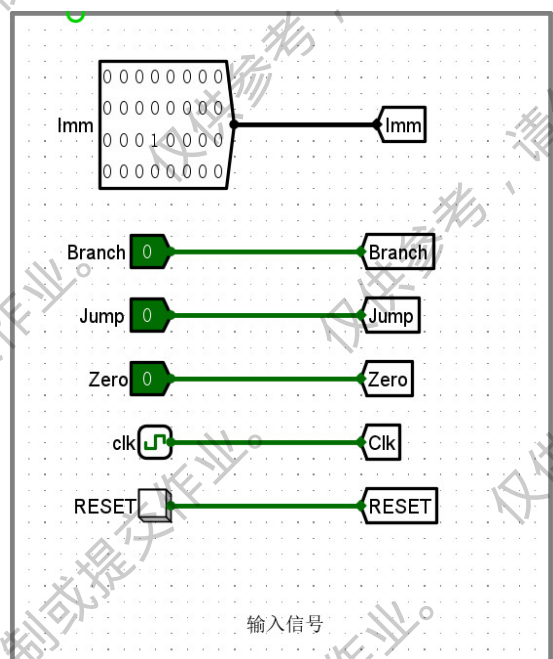
指令解析部件

## 5、设计输入输出信号的观测窗口

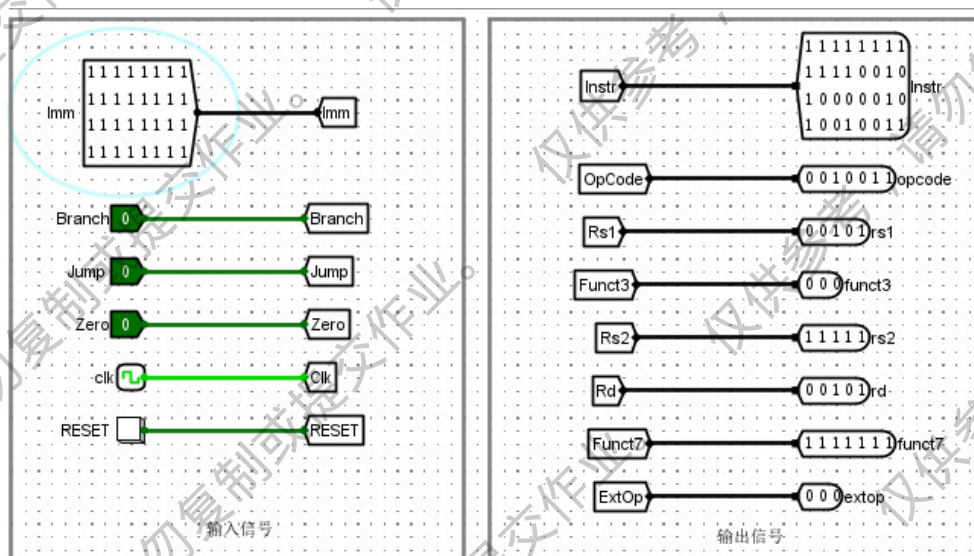


## 6、测试

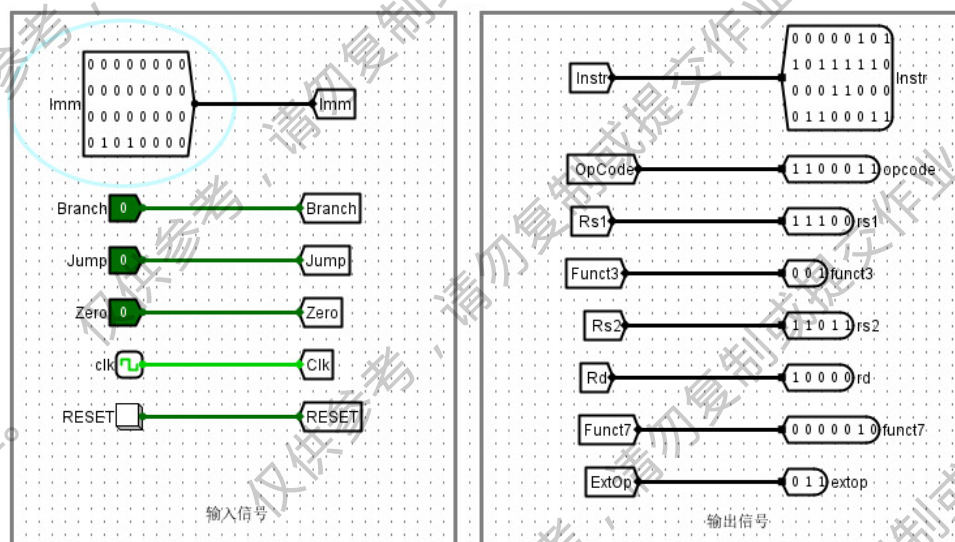
### 第 1 条



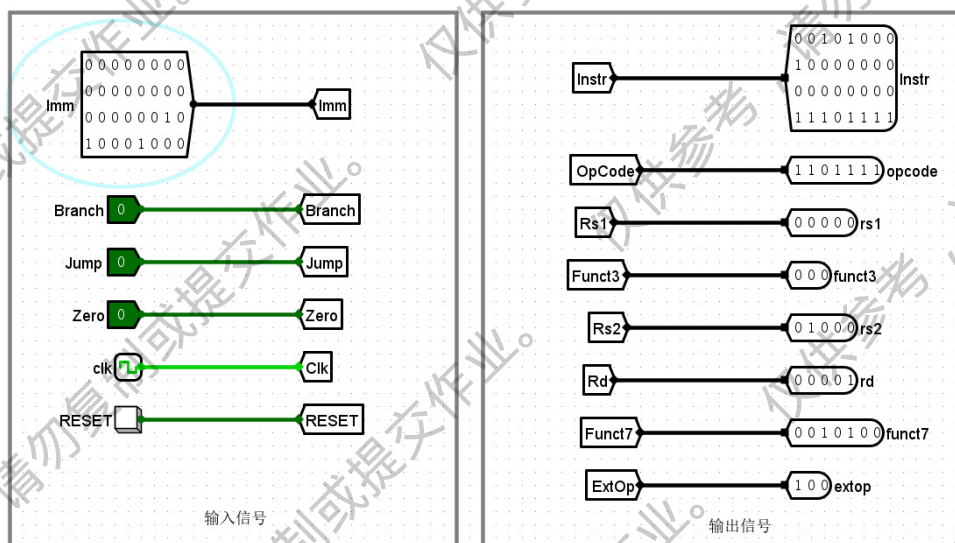
## 第 2 条



## 第 3 条

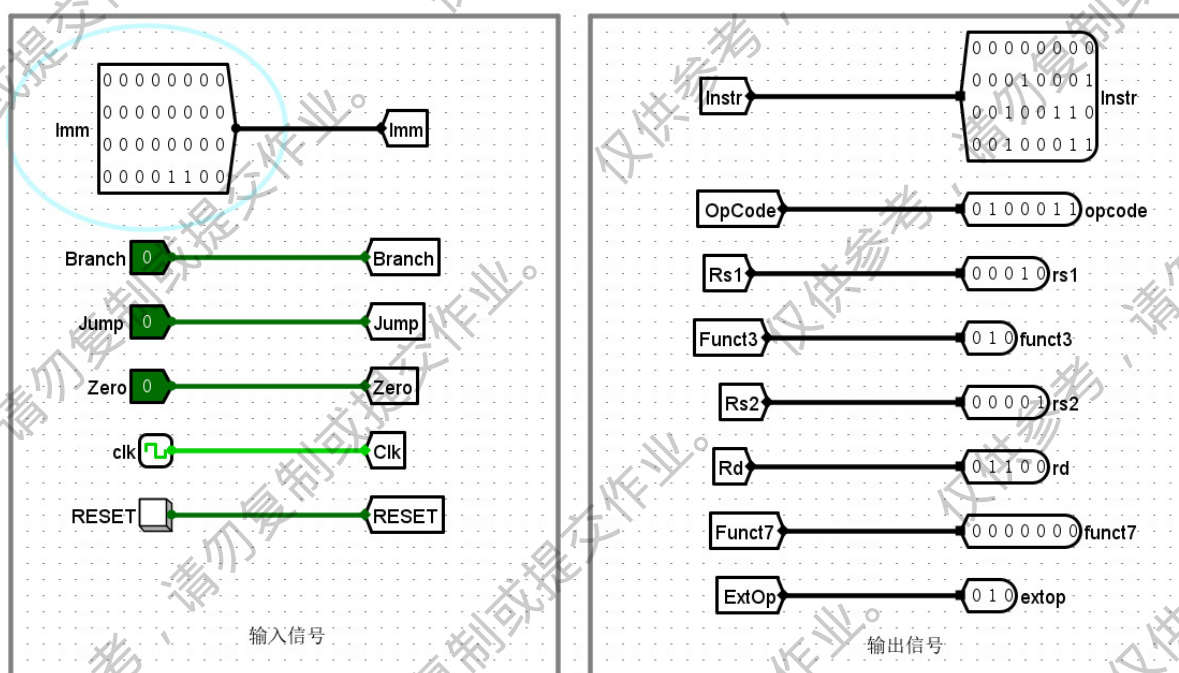


## 第 4 条

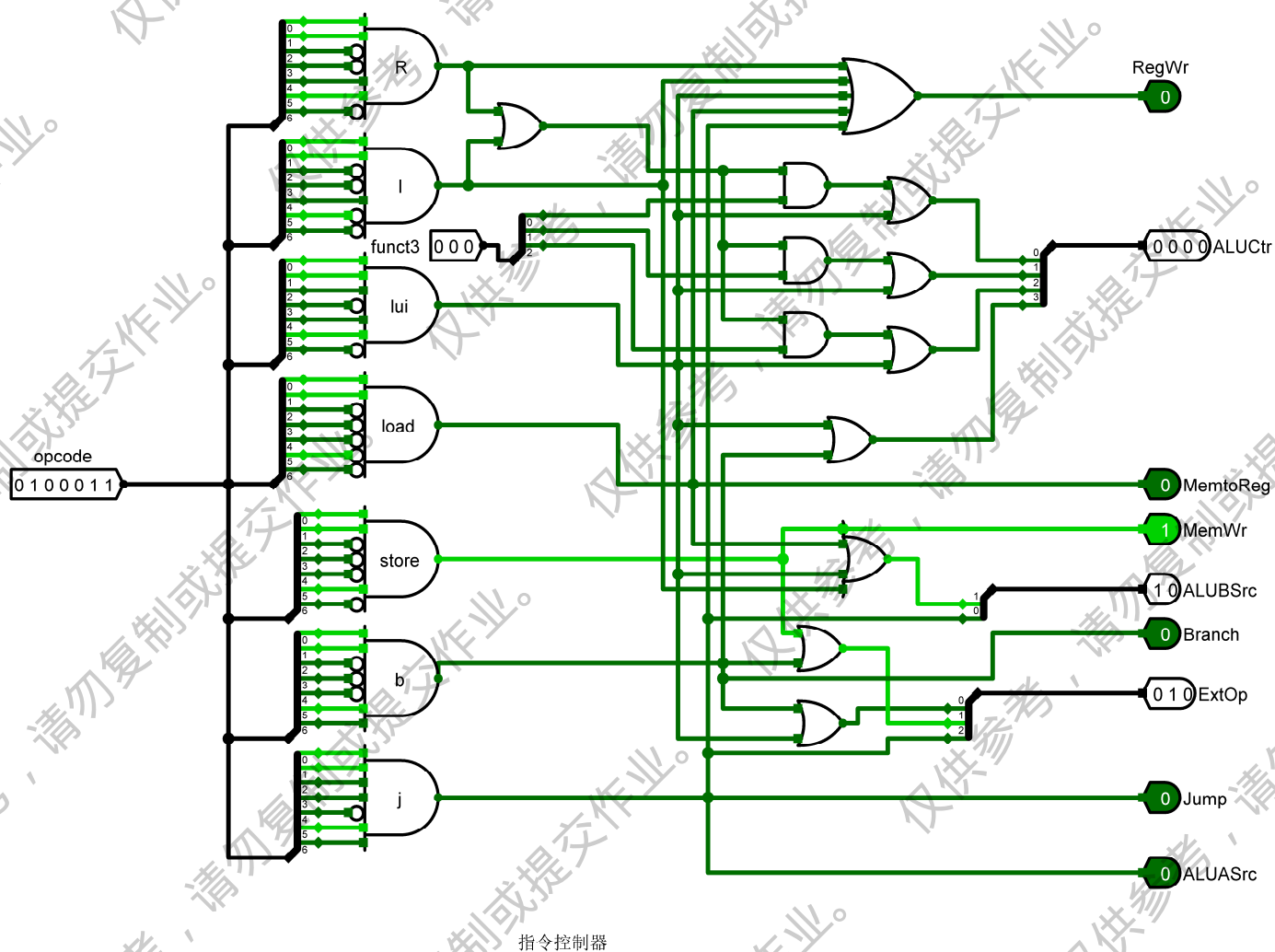




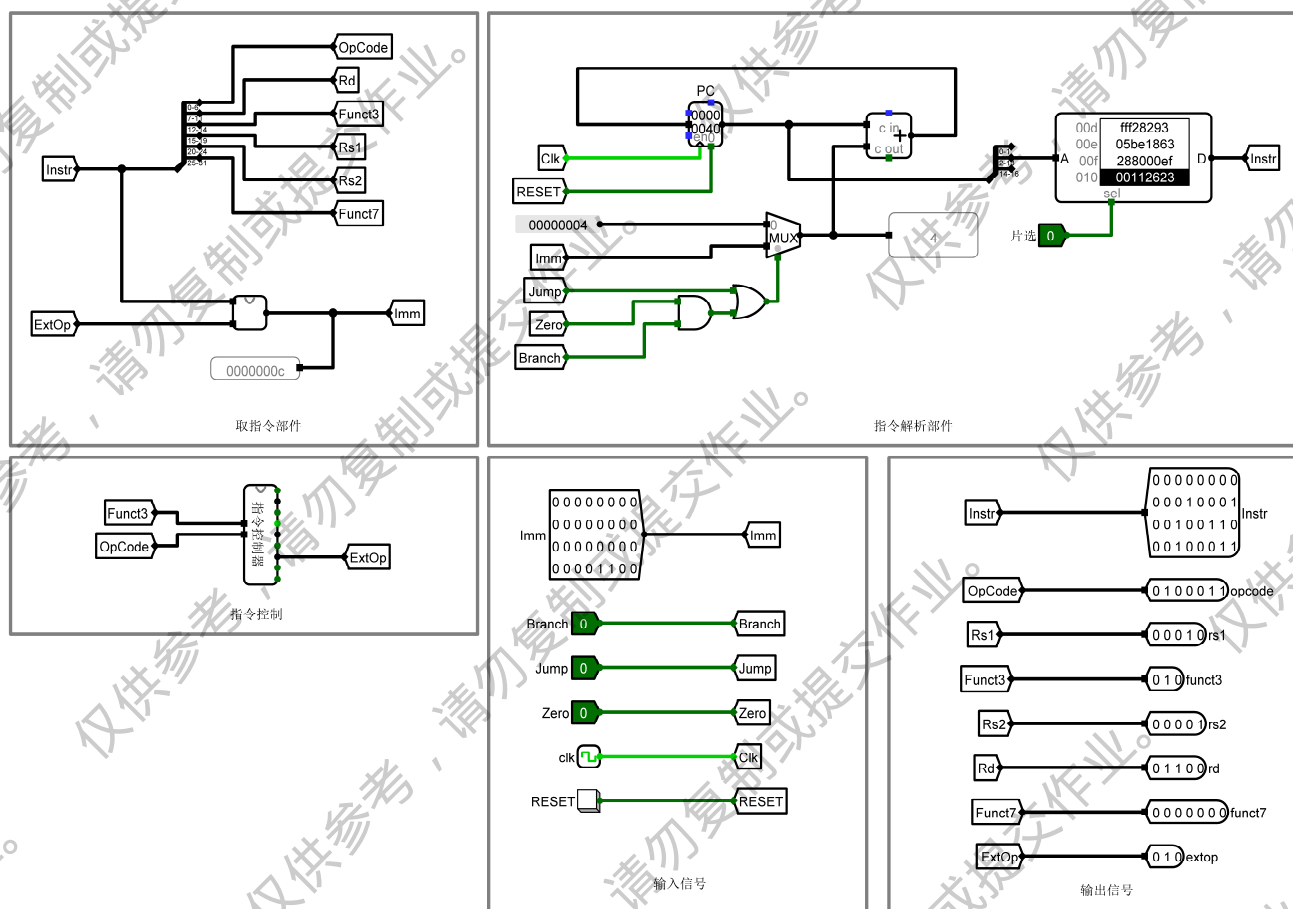
## 第 5 条



## 7. 设计指令控制器



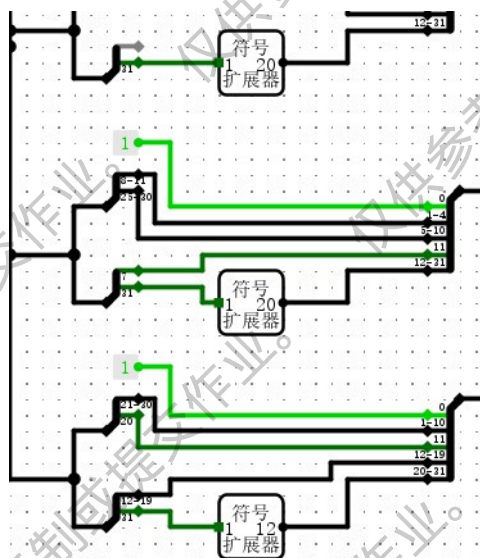
## 8、指令设计总览



## 五、分析与思考

### ● 实验中遇到的问题分析

实验中发现立即数生成程序错误，最低位一直为 1，排查发现是下图中常量设置错误，应该为 0。



## ● 思考

### 1) RISC-V 指令设计原理

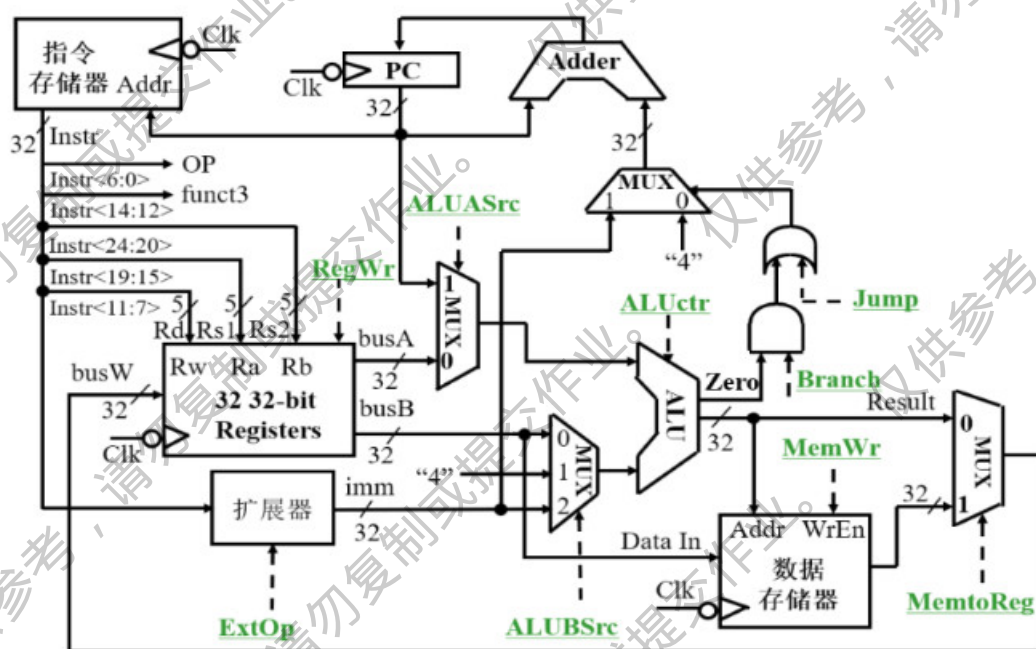


图 10 RISC-V 单周期数据通路

### 2) RISC-V 指令格式

