

# 16条指令复杂模型机系统设计

2024.6



哈尔滨工程大学计算机实验教学中心

# 带移位模型机指令与控制台命令

## ——16条机器指令，3条控制台命令

	助记符号	指令格式	功能
算术逻辑指令	CLR rd	0111 00 rd	$0 \rightarrow rd$
	MOV rs, rd	1000 rs rd	$rs \rightarrow rd$
	ADC rs, rd	1001 rs rd	$rs + rd + cy \rightarrow rd$
	SBC rs, rd	1010 rs rd	$rs - rd - cy \rightarrow rd$
	INC rd	1011 rd	$rd + 1 \rightarrow rd$
	AND rs, rd	1100 rs rd	$rs \wedge rd \rightarrow rd$
	COM rd	1101 rd	$\neg rd \rightarrow rd$
	RRC rs, rd	1110 rs rd	cy $\rightarrow$ rs $\rightarrow$ cy循环右移位 $rs \rightarrow rd$
访问内存指令	RLC rs, rd	1111 rs rd	cy $\leftarrow$ rs $\leftarrow$ cy循环左移位 $rs \rightarrow rd$
	LDA M, D, rd	00 M 00 rd D	$E \rightarrow rd$
程序控制指令	STA M, D, rd	00 M 01 rd D	$rd \rightarrow E$
	JMP M, D	00 M 10 rd D	$E \rightarrow PC$
I/O指令	BZC M, D	00 M 11 rd D	当CY=1或Z=1时, $E \rightarrow PC$
	IN addr, rd	0100 01 rd	$addr \rightarrow rd$
停机指令	OUT addr, rd	0101 10 rd	$rd \rightarrow addr$
	HALT	0110 00 00	停机

SWB	SWA	控制台命令
0	0	读内存 (KRD)
0	1	写内存 (KWE)
1	1	启动程序 (RP)

# 算术逻辑指令9条

## 指令格式

7 6 5 4	3 2	1 0
OP-CODE	rs	rd

源寄存器

目的寄存器

rs或rd	选定的寄存器
00	R0
01	R1
10	R2
11	R3

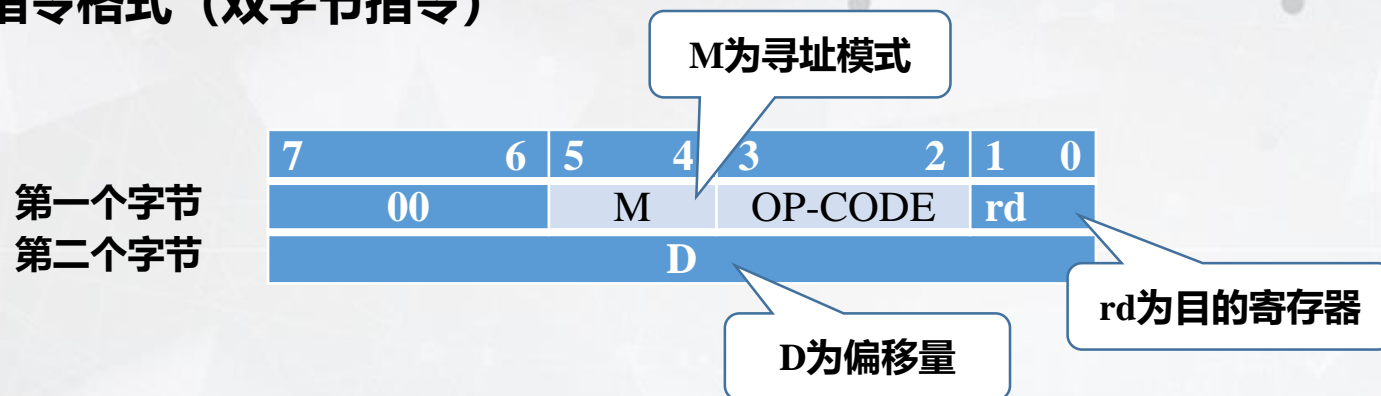
	助记符号	指令格式	功能	
算术逻辑指令	CLR rd	0111 00 rd	$0 \rightarrow rd$	清零
	MOV rs, rd	1000 rs rd	$rs \rightarrow rd$	传送
	ADC rs, rd	1001 rs rd	$rs + rd + cy \rightarrow rd$	带进位加法
	SBC rs, rd	1010 rs rd	$rs - rd - cy \rightarrow rd$	带进位减法
	INC rd	1011 00 rd	$rd + 1 \rightarrow rd$	加1
	AND rs, rd	1100 rs rd	$rs \wedge rd \rightarrow rd$	按位逻辑与
	COM rd	1101 00 rd	$\neg rd \rightarrow rd$	按位取反
	RRC rs, rd	1110 rs rd	$cy \rightarrow rs \rightarrow cy$ $rs \rightarrow rd$	带进位循环右移
	RLC rs, rd	1111 rs rd	$cy \leftarrow rs \leftarrow cy$ $rs \rightarrow rd$	带进位循环左移

运算结果打入目的寄存器rd

# 访问内存指令2条、程序控制指令（转移指令）2条

## 指令格式（双字节指令）

本实验中，变址寄存器RI为寄存器R3



寻址模式M	有效地址E	说明
00	$E=D$	直接寻址
01	$E=(D)$	间接寻址
10	$E=(RI)+D$	RI变址寻址
11	$E=(PC)+D$	相对寻址

	助记符号	指令格式	功能	
访问内存指令	LDA M, D, rd	00 M 00 rd D	$E \rightarrow rd$	将地址为E的RAM存储单元的数据读出并打入rd寄存器
	STA M, D, rd	00 M 01 rd D	$rd \rightarrow E$	将rd寄存器的数据写入RAM的地址为E的存储单元

	助记符号	指令格式	功能	
程序控制指令	JMP M, D	00 M 10 rd D	$E \rightarrow PC$	无条件转移指令，将地址为E的RAM存储单元的数据读出并打入程序计数器PC
	BZC M, D	00 M 11 rd D	当CY=1或Z=1时, $E \rightarrow PC$	结果为零或有进位转移指令



# I/O指令2条

## 指令格式

7 6 5 4	3 2	1 0
OP-CODE	addr	Rd

本实验中，addr=01时选中键盘（d0[7..0]）输入设备，addr=10时，选中led灯（led[7..0]）为输出设备。

	助记符号	指令格式	功能	
I/O指令	IN addr, rd	0100 01 rd	addr → rd	从输入设备输入数据， 打入目的寄存器rd
	OUT addr, rd	0101 10 rd	rd → addr	将目的寄存器rd的数据 输出到输出设备

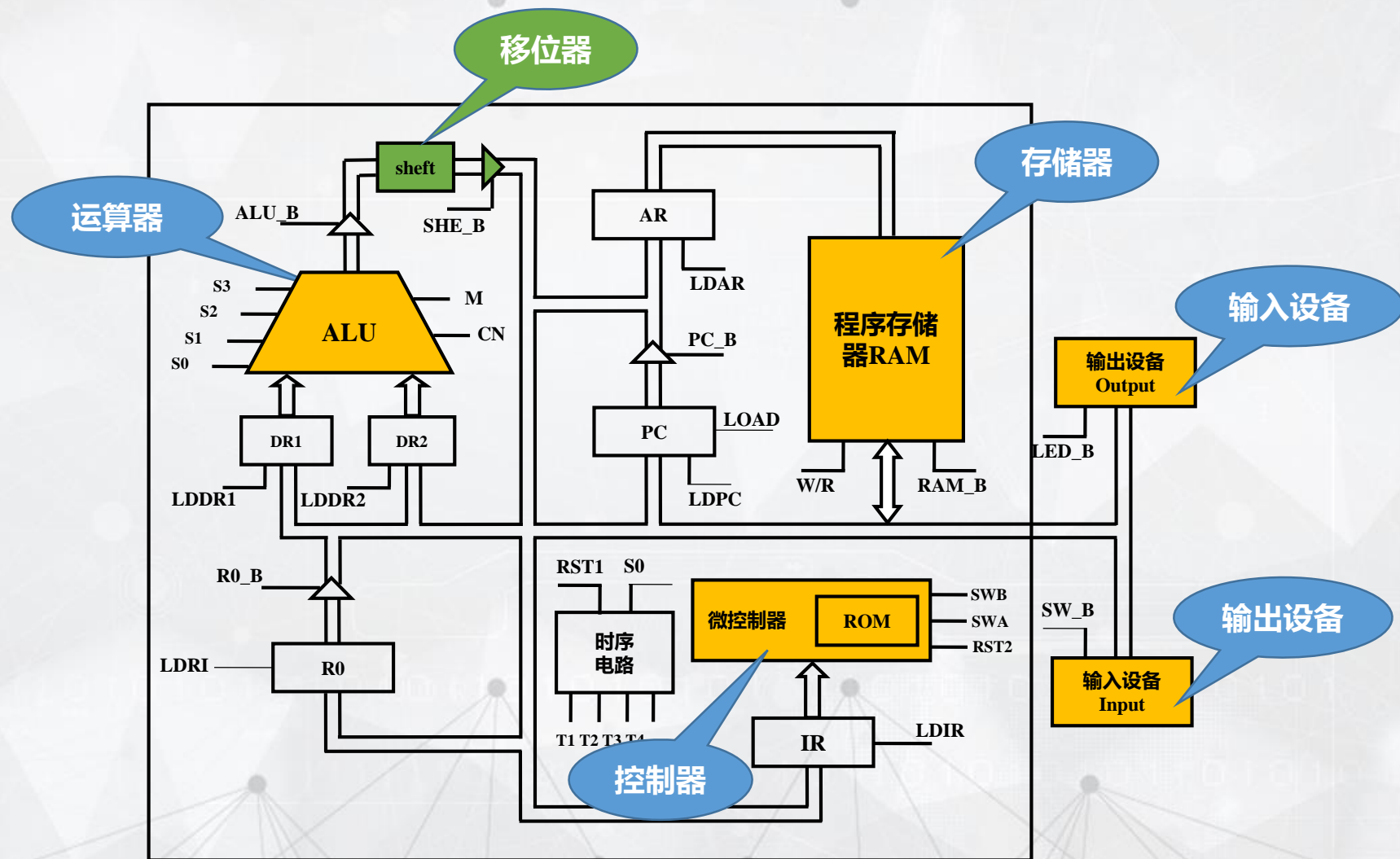
# 停机指令1条

## 指令格式

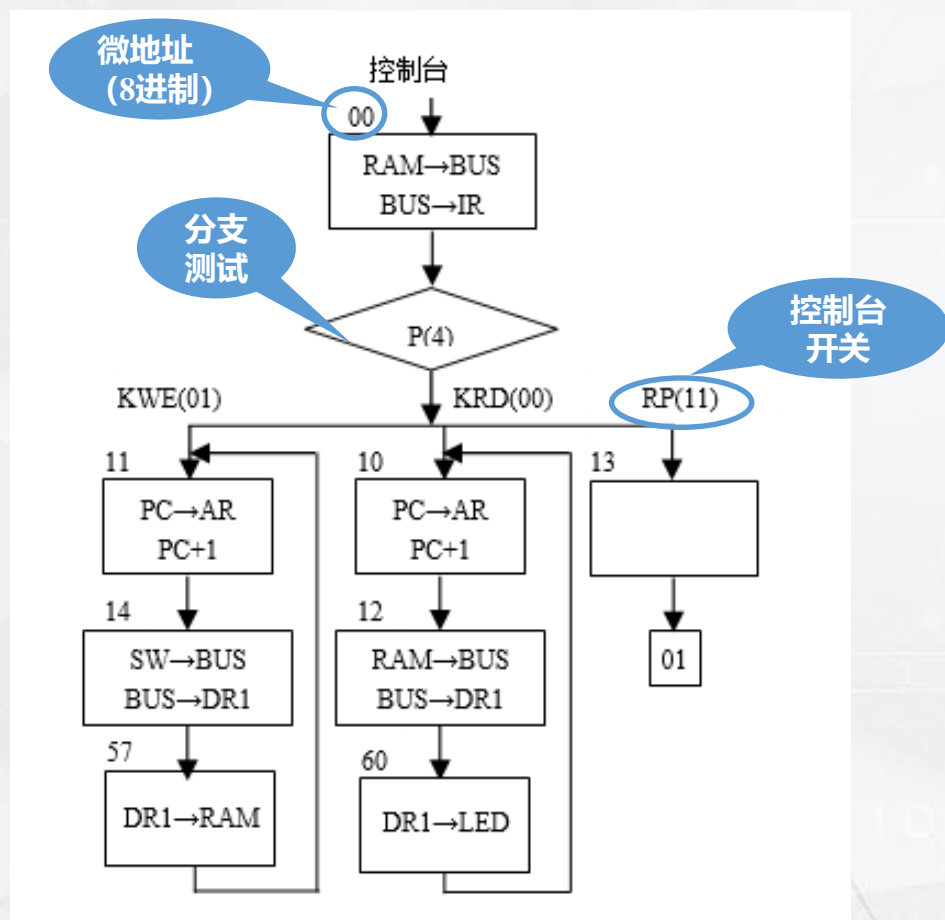
7 6 5 4	3 2	1 0
OP-CODE	0 0	0 0

	助记符号	指令格式	功能
停机指令	HALT	0110 00 00	停机

# 16条指令复杂模型机数据通路



# 16条指令复杂模型机微程序流程

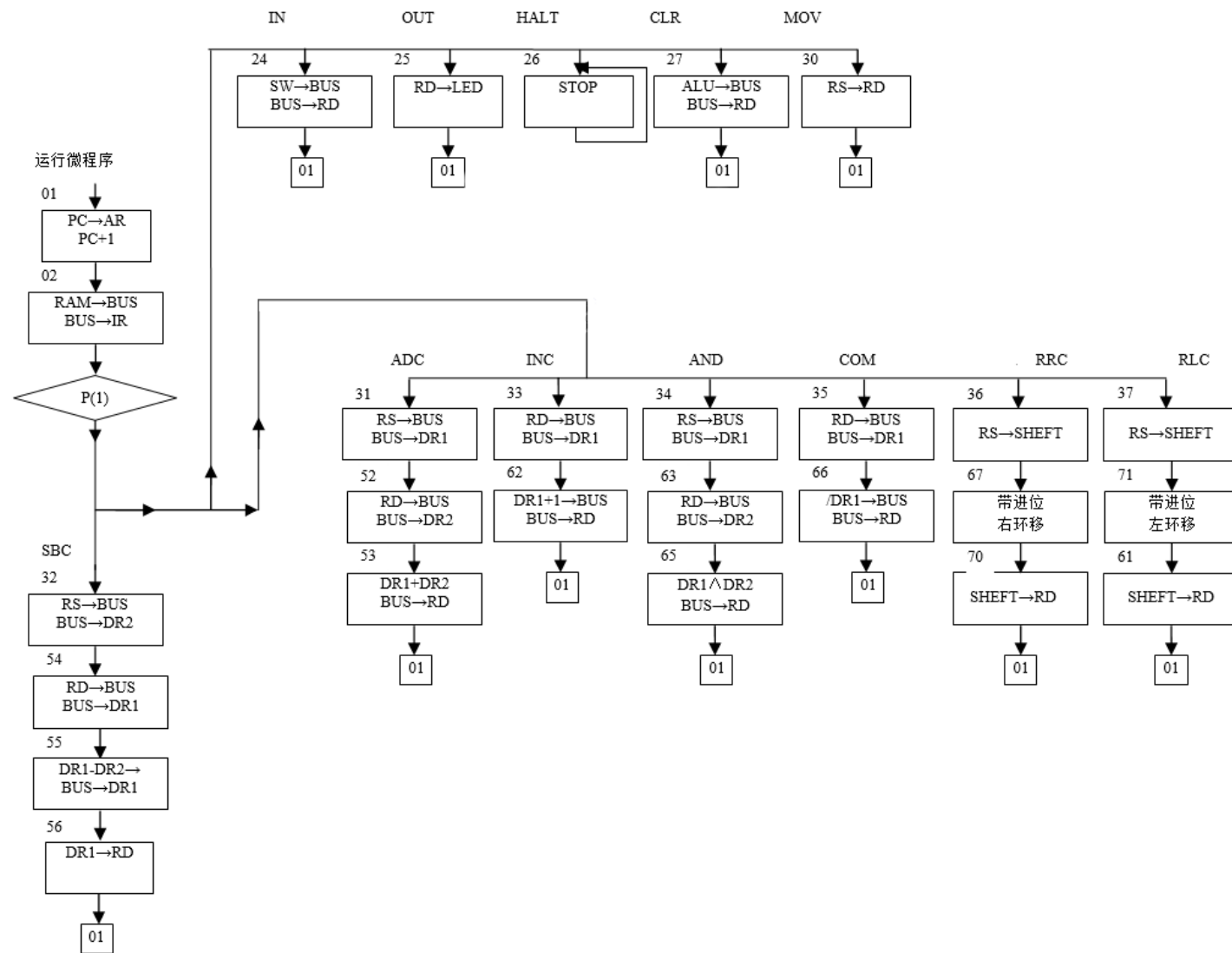




# 微程序流程——9条算术逻辑指令、2条I/O指令、1条停机指令

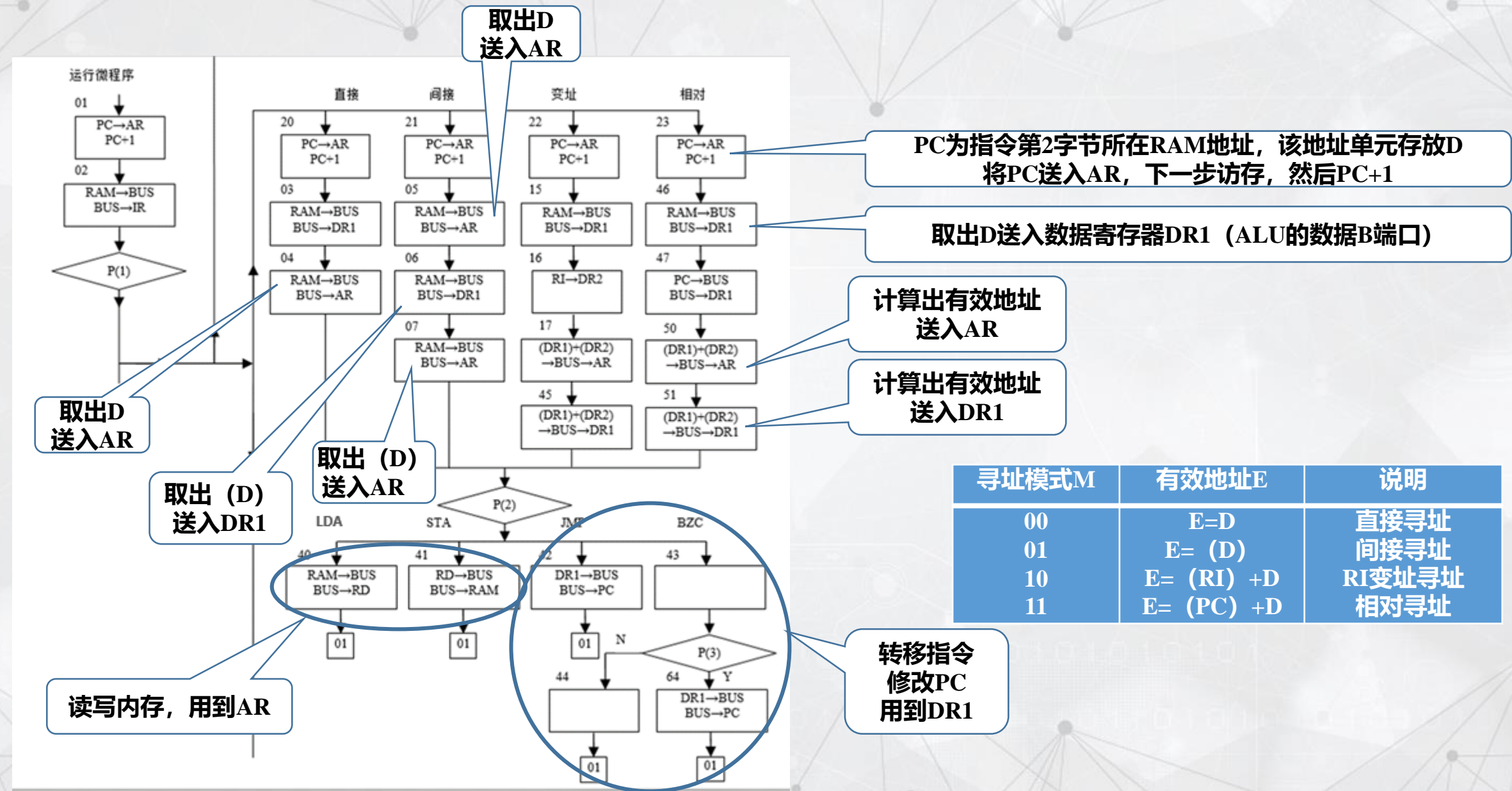
源寄存器RS

目的寄存器RD



思考题：各条指令的寻址方式？

# 微程序流程——2条I/O指令、2条条件转移指令



寻址模式M	有效地址E	说明
00	$E = D$	直接寻址
01	$E = (D)$	间接寻址
10	$E = (RI) + D$	RI变址寻址
11	$E = (PC) + D$	相对寻址

# 带移位功能模型机微代码定义

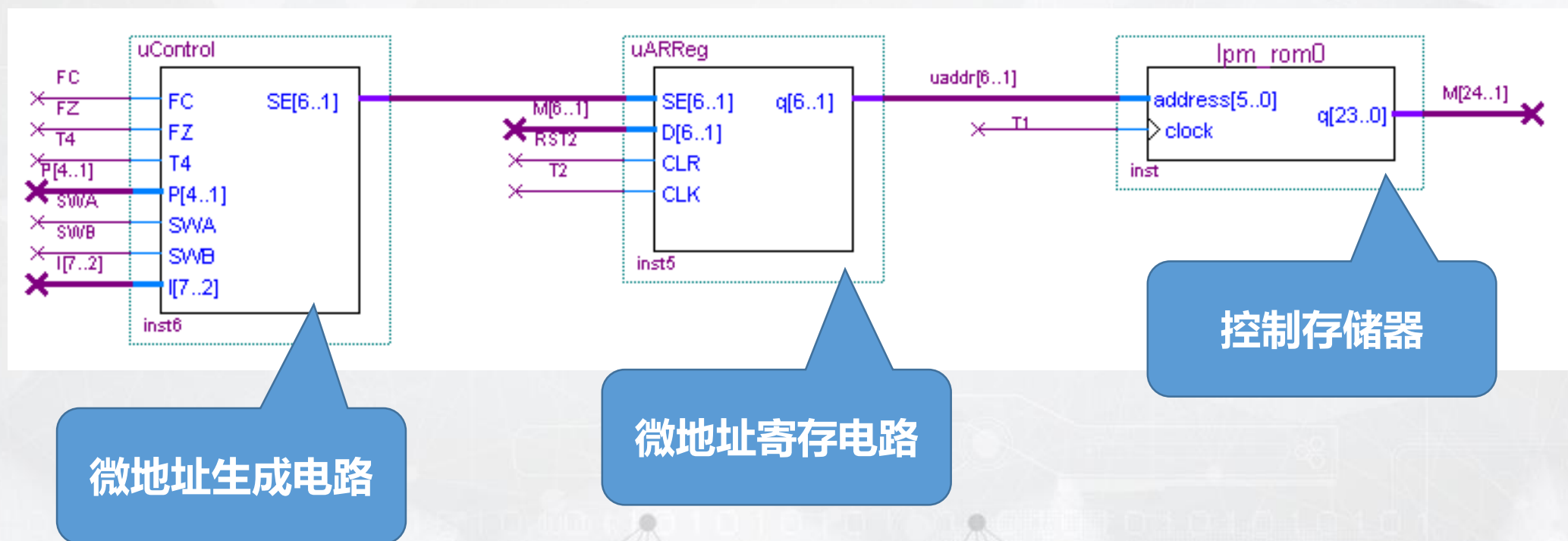
## 微命令编码格式定义

24	23	22	21	20	19	18	17	16	15 14 13	12 11 10	9 8 7	6	5	4	3	2	1
S3	S2	S1	S0	M	Cn	WE	A9	A8	A	B	C	UA5	UA4	UA3	UA2	UA1	UA0

## 微命令控制信号的功能

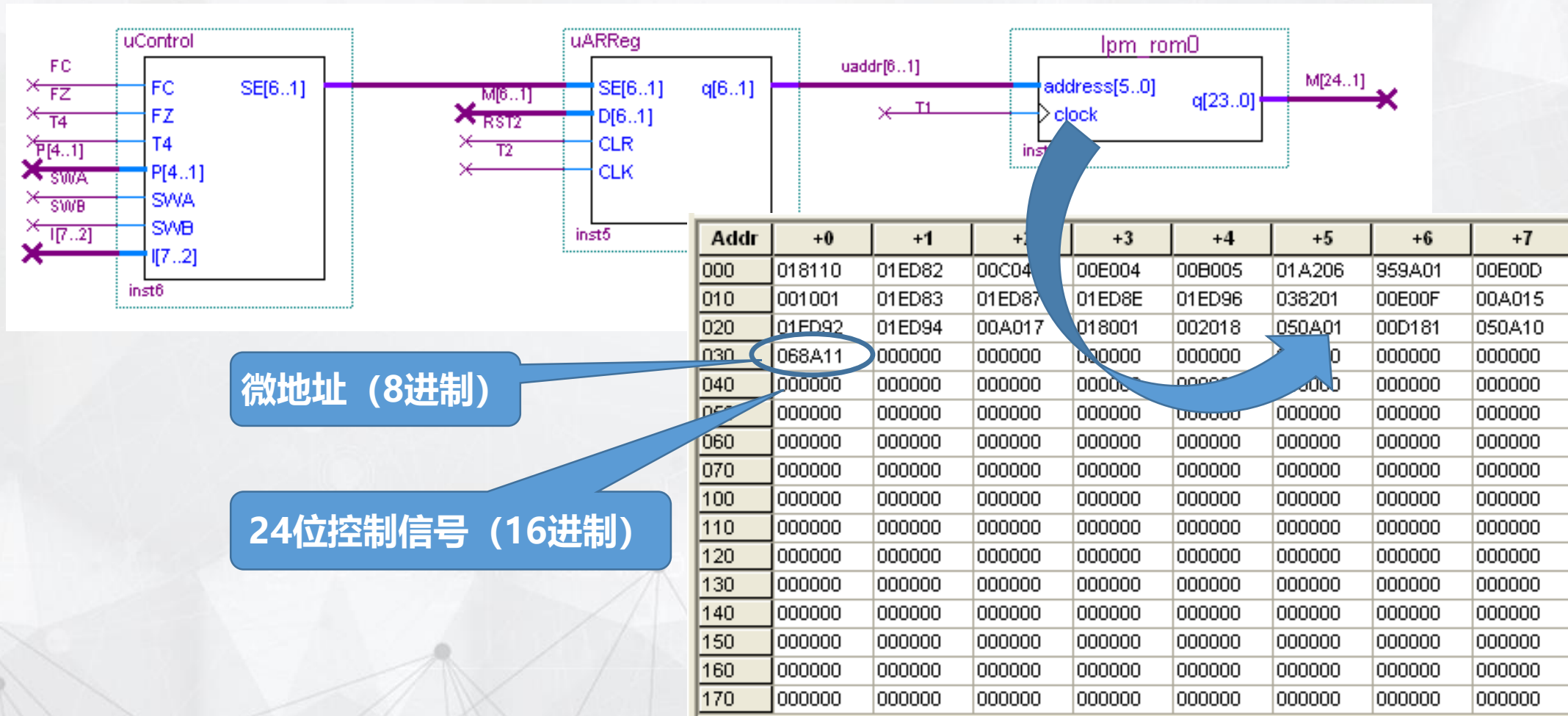
A9、A8字段			A字段				B字段				C字段			
17	16	选择	15	14	13	选择	12	11	10	选择	9	8	7	选择
0	0	SW_B	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0	1	RAM_B	0	0	1	LDRI	0	0	1	RS_B	0	0	1	P (1)
1	0	LED_B	0	1	0	LDDR1	0	1	0	RD_B	0	1	0	P (2)
1	1		0	1	1	LDDR2	0	1	1	RI_B	0	1	1	P (3)
			1	0	0	LDIR	1	0	0	SHE_B	1	0	0	P (4)
			1	0	1	LOAD	1	0	1	ALU_B	1	0	1	
			1	1	0	LDAR	1	1	0	PC_B	1	1	0	LDPC
			1	1	1		1	1	1		1	1	1	

# 微程序控制器电路

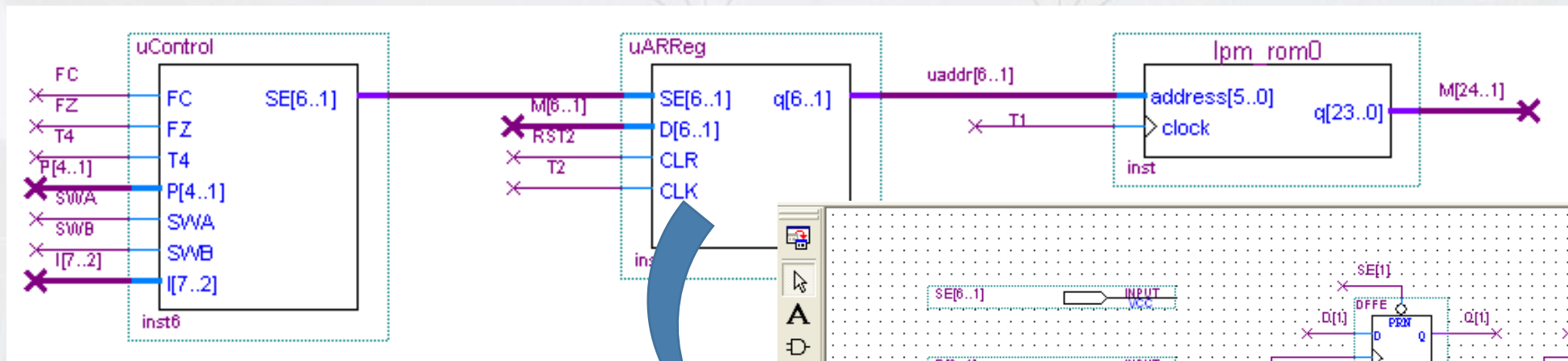




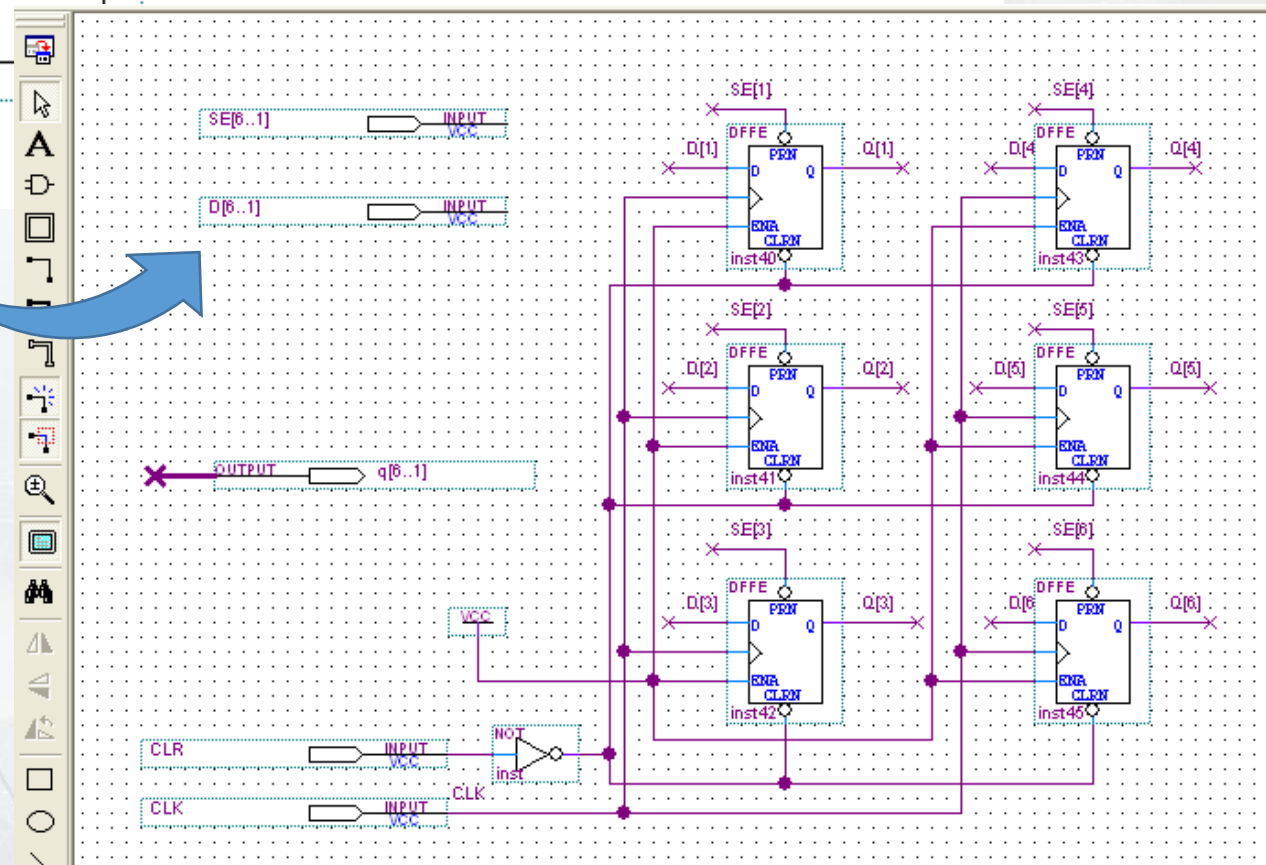
# 控制存储器ROM的初始化数据 ——微代码表uicode.hex



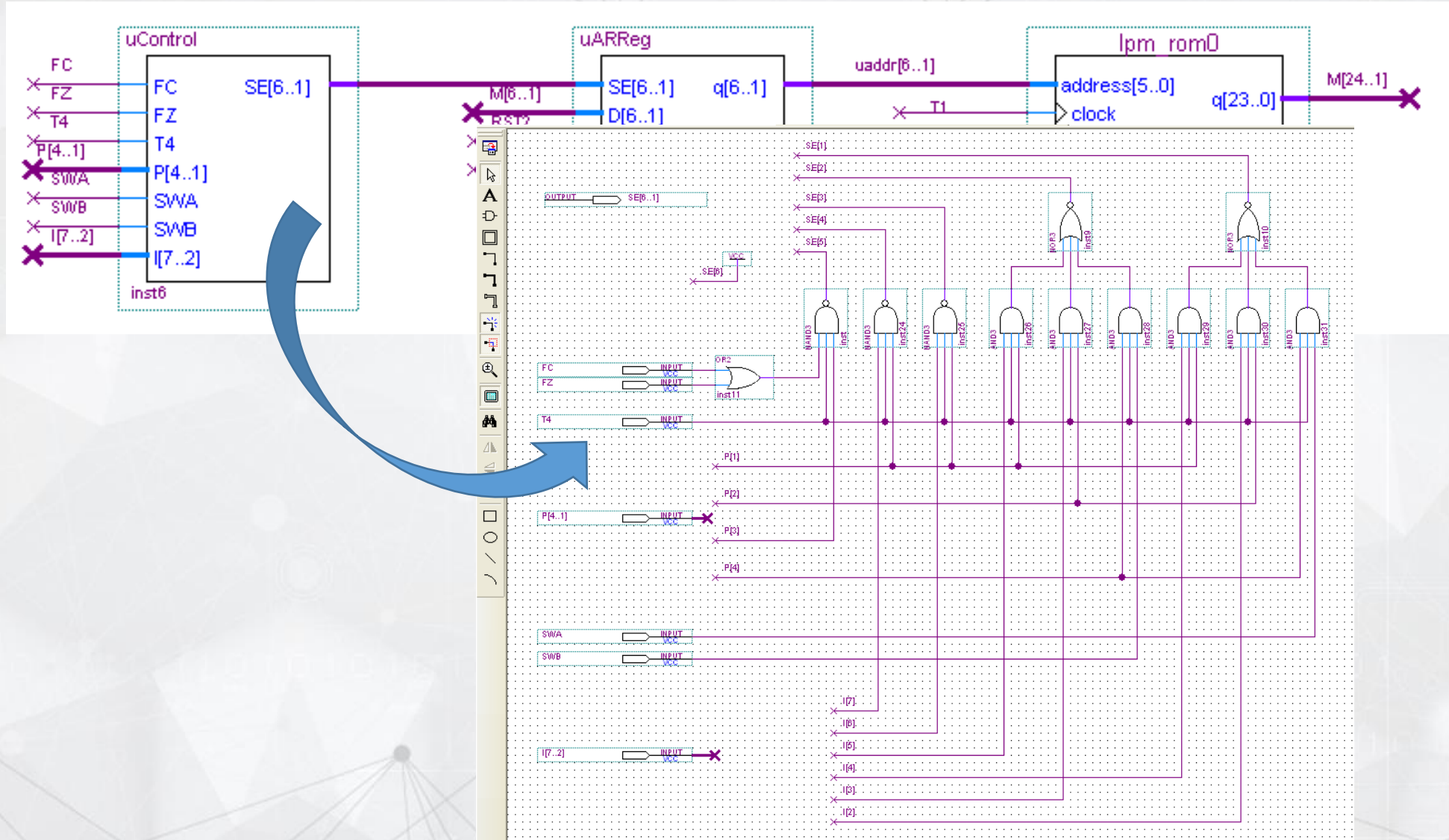
# 微地址寄存器电路uARReg



SE[6..1](低电平有效),  
强制将uARReg电路中的  
的某一D触发器置为 "1"



# 微程序控制电路uControl



# 举例：STA指令微地址生成——从02跳转到22

STA指令(变址寻址) 00 M 01 rd D 00100101 10000000

uControl输入							uControl输出
T4	SWB	SWA	P[4..1]	FC	FZ	I[7..2]	SE[6..1]
...	...	...	...	...	...	...	...
1	1	1	0001	X	X	000100	111101
1	1	1	0000	X	X	000100	111111
...	...	...	...	...	...	...	...

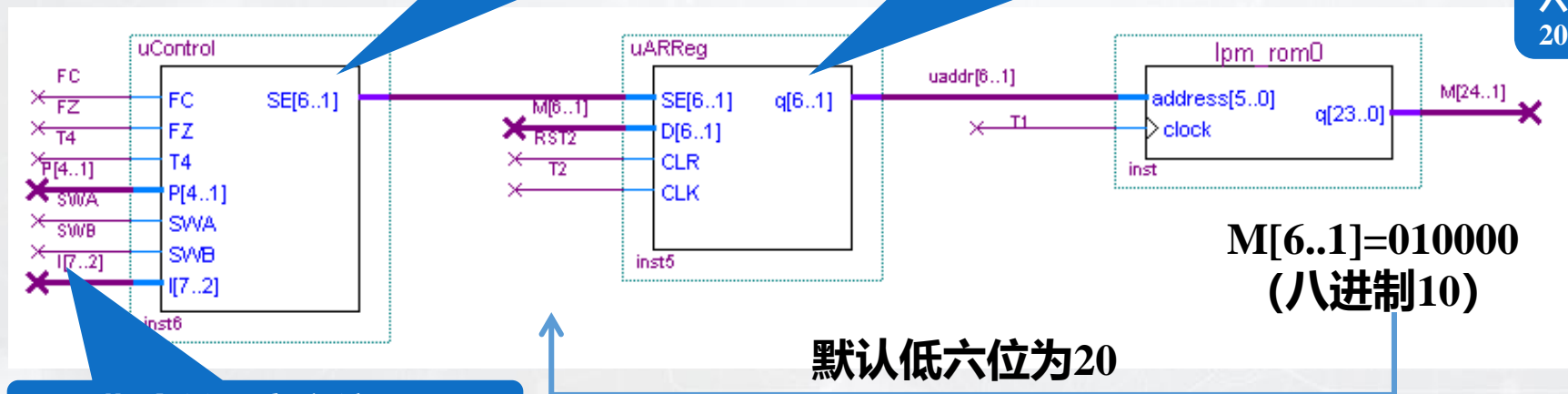
分支测试，修改默认微地址

顺序执行，默认低六位微地址

SE[6..1]=111101

q[6..1]=010010(八进制22)

默认低六位为20

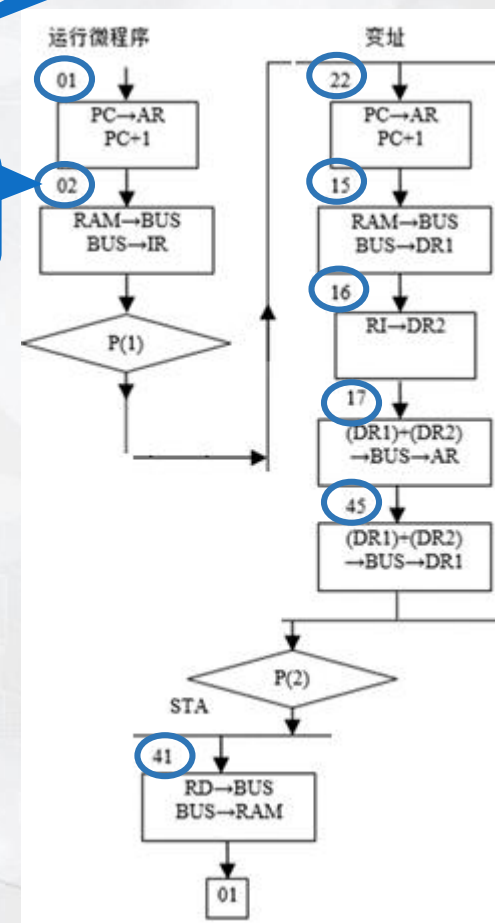


STA指令代码高六位001001

微地址	S3	S2	S1	S0	M	Cn	WE	A9	A8	A	B	C	UA5— UA0	微指令
0 0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	000	000	100	0 0 1 0 0 0	018100
0 1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	110	110	110	0 0 0 0 1 0	01ED82
0 2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100	000	001	0 1 0 0 0 0	00C050

C字段译码  
P=0001

默认低六位为20





# 举例：STA指令微地址生成——从45跳转到41

STA指令(变址寻址) 00 M 01 rd D 00100101 10000000

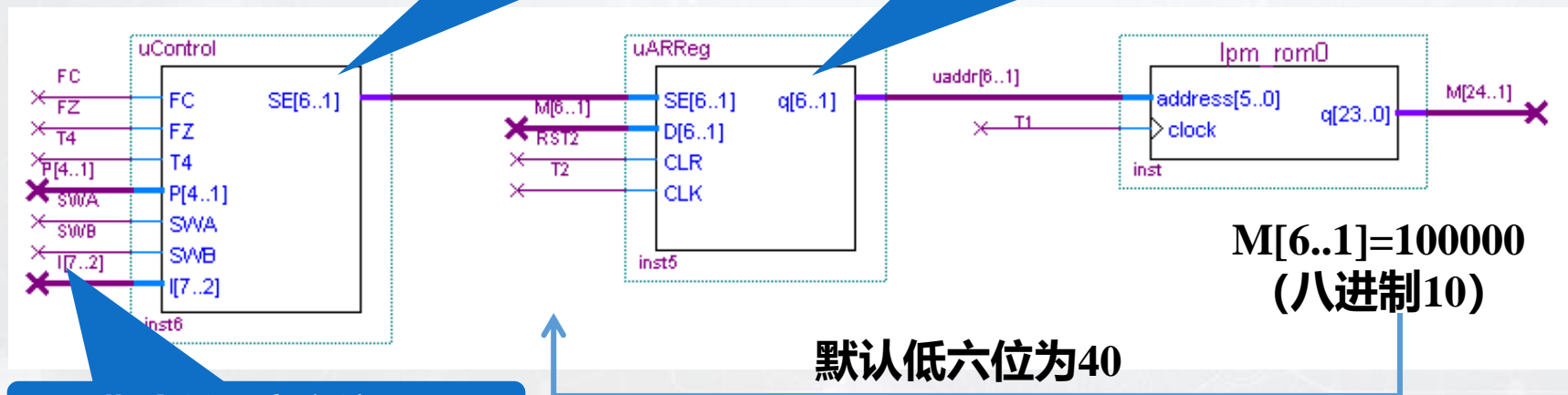
uControl输入							uControl输出
T4	SWB	SWA	P[4..1]	FC	FZ	I[7..2]	SE[6..1]
...	...	...	...	...	...	...	...
1	1	1	0001	X	X	000100	111110
1	1	1	0000	X	X	000100	111111
...	...	...	...	...	...	...	...

分支测试，修改默认微地址

顺序执行，默认低六位微地址

SE[6..1]=111110

q[6..1]=100001(八进制41)

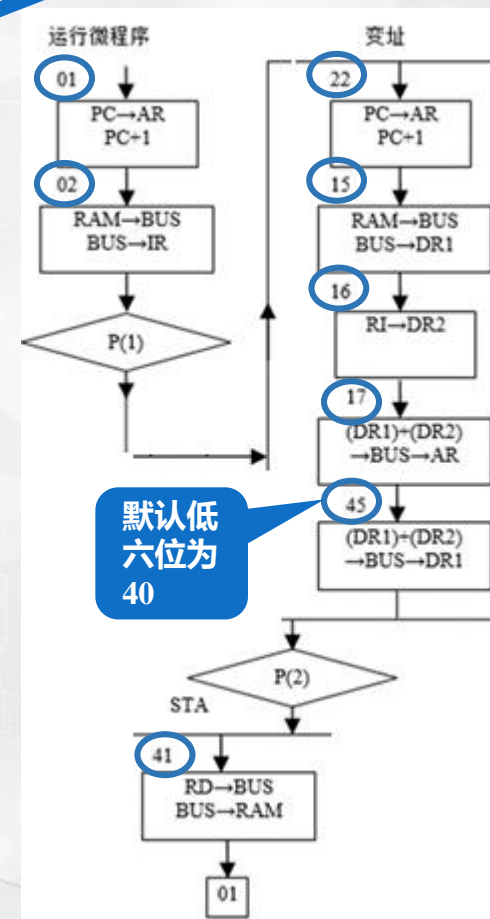


STA指令代码高六位001001

微地址	S3	S2	S1	S0	M	Cn	WE	A9	A8	A	B	C	UA5— UA0	微指令
4 1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	000	010	000	0 0 0 0 0 1	038401
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4 5	1	0	0	1	0	1	0	1	1	010	101	010	1 0 0 0 0 0	95AAA0

C字段译码  
P=0010

默认低六位为40



## 变址寻址方式典型应用

### ——用变址方式访问一组连续区间内的数组元素

**D**为存储区首地址;

**(Rx)**为所访单元距离首址的长度;

**R<sub>x</sub>**初值为0, 每访问一个单元,

**(Rx)+1**。

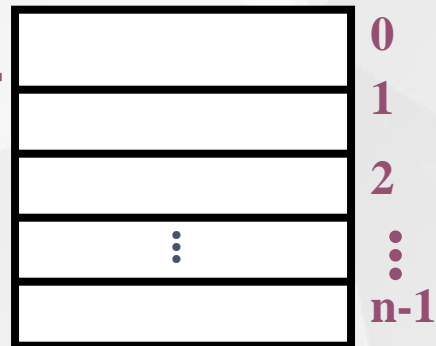
**D=首址**

**D+1**

**D+2**

**⋮**

**D+n-1**



**选做实验：利用访存指令，跳转指令，加法指令等，实现将一组连续区间内的数组元素搬迁到存储器另一区域。编写程序完成仿真，**

变址寻址方式的应用很广，典型的用法是：用变址方式访问一组连续区间内的数组元素。

将形式地址**D**作为基准地址，指向某个数组的首地址，而变址寄存器**R<sub>x</sub>**的内容作为偏移量，即目标单元与首地址单元之间的距离。

**R<sub>x</sub>**初值为0，每访问一个单元，**R<sub>x</sub>**的内容+1。指向下一个数组元素。

# 16条指令复杂模型机实验要求

## 完成16条指令复杂模型电路设计与波形图仿真

- 1.对模型机系统功能进行扩展，丰富指令集，优化完善硬件电路和仿真方案。
- 2.设计16条指令模型机指令集，支持多种寻址方式。设计数据通路、微程序流程、编写微代码表。
- 3.编写测试程序，测试全部指令和全部寻址方式，在复杂模型机系统上运行和调试。完成EDA软件仿真和实验台测试。

访问内存指令2条（LDA、STA）、程序控制指令（转移指令）2条（JMP、BZC），4种寻址方式

# 16条指令复杂模型机实验步骤

在带移位功能模型机基础上：

1、完善寄存器组电路，实现源寄存器和目的寄存器控制电路

方式1：源寄存器 $rs$ 固定为R0，目的寄存器 $rd$ 固定为R1，变址寄存器为R3

方式2：源寄存器 $rs$ 为4个寄存器（R0~R3）之一，目的寄存器 $rd$ 为4个寄存器（R0~R3）之一。变址寄存器为R3

2、更新微代码表，支持16条指令

3、编写测试程序

4、完成仿真波形图

5、引脚锁定、下载实验台测试



# 寄存器组电路设计要点

- 1、指令的第2、3位指定源寄存器，指令的第0、1位指定寄存器
- 2、A字段为001时，寄存器打入控制信号LDRI有效，此时结合指令低4位，决定具体控制那个寄存器工作。
- 3、可以用多路选择器或者译码器等电路实现寄存器组的控制。

# 16条指令复杂模型机扩展（选做）

## 模型机扩展

进一步扩展模型机的功能，实现更多的指令。完成编译和仿真。可以从以下方面进行扩展。

(1) 扩展指令集，增加新指令，例如堆栈指令，条件跳转等。参考Intel X86 CPU汇编指令集

(2) 扩展电路，增加新部件（寄存器组，状态寄存器，堆栈寄存器等）

(3) 可以用VHDL实现各个部件，实现基本模型机电路。

(4) 扩展成16位模型机，扩充指令集，重新设计微控制器

教材微代码表（表7-32）更正：

微地址06，最后一列改成94A007

微地址35，最后一列改成01A436

表 7-32 二进制微代码表														
微地址	S3	S2	S1	S0	M	CN	WE	A9	A8	A	B	C	UA5~UA0	微指令
00	0	0	0	0	0	0	0	1	1	000	000	100	001000	018108
01	0	0	0	0	0	0	0	1	1	110	110	110	000010	01ED82
02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100	000	001	010000	00C050
03	0	0	0	0	0	0	0	0	1	010	000	000	000100	00A004
04	0	0	0	0	0	0	0	0	1	110	000	010	100000	00E0A0
05	0	0	0	0	0	0	0	0	1	110	000	000	000110	00E006
06	1	0	0	1	0	1	0	0	1	010	000	000	000111	94A007

微地址	S3	S2	S1	S0	M	CN	WE	A9	A8	A	B	C	UA5~UA0	微指令
31	0	0	0	0	0	0	0	1	1	010	001	000	101010	01A22A
32	0	0	0	0	0	0	0	1	1	011	001	000	101100	01B22C
33	0	0	0	0	0	0	0	1	1	010	010	000	110010	01A432
34	0	0	0	0	0	0	0	1	1	010	001	000	110011	01A233
35	0	0	0	0	0	0	0	1	1	010	010	000	110110	218236 01A436



现在开始实验（第5次课）！

带移位功能模型机电路设计、编译和仿真

1、基本模型机系统原理：参考教材7.3

2、完成电路设计、编译。

（1）完善寄存器组电路，实现源寄存器和目的寄存器控制电路（方式1、方式2，也可自行设计其他方式）

- 方式1：源寄存器 $rs$ 固定为R0，目的寄存器 $rd$ 固定为R1

- 方式2：源寄存器 $rs$ 为4个寄存器（R0~R3）之一，目的寄存器 $rd$ 为4个寄存器（R0~R3）之一。

（2）更新微代码表，支持16条指令

选做（1）微程序控制电路uControl的功能表和输入输出逻辑表达式

选做（2）自定义指令

选做（3）自编程序仿真

3、2个人一组。实体名后面加2个学号的后两位，例如computer0709

4、完成后按组发实验结果和进度给任课老师。答疑与验收方式：QQ或腾讯会议，按组验收。