

计算机组成原理 (TEC-8系统) 实验指导书

二零二零年三月

目录

第 1 章 TEC-8 实验系统平台概述	3
第 2 章 运算器组成实验	13
第 3 章 数据通路组成实验	16
第 4 章 微程序控制器实验	22
第 5 章 CPU 组成与机器指令的执行实验.....	28
第 6 章 中断原理实验*	32

第1章 TEC-8 实验系统平台概述

1.1 TEC-8实验系统的用途

TEC-8计算机硬件综合实验系统，以下简称TEC-8实验系统，是清华大学科教仪器厂生产的一个专利产品。它可用于数字逻辑与数字系统、**计算机组成原理**、计算机体系结构三门课程的实验教学，也可用于数字系统的研究开发，为提高学生的动手能力、培养学生的创新精神提供了一个良好的舞台。

1.2 TEC-8组成实验系统技术特点

(1)模型计算机字长8位，通过8位数据开关用手动方式输入二进制测试程序，有利于从最底层开始了解计算机工作原理。

(2)指令系统采用4位操作码，可容纳16条指令。已实现加、减、与、加1、存数、取数、条件转移、无条件转移、输出、中断返回、开中断、关中断和停机等14条指令，指令功能非常典型。

(3)采用双端口存储器作为主存，实现数据总线和指令总线双总线体制，实现指令流水功能，体现出现代CPU设计思想。

(4)控制器采用微程序控制器、硬连线控制器和独立3种类型，体现了当代计算机控制器技术的完备性。

(5)微程序控制器、硬连线控制器和独立之间的转换采用独创的一次全切换方式，切换不用关掉电源，切换简单、安全可靠。

(6)控制存储器中的微代码可用PC计算机下载。

(7)运算器中ALU采用2片74LS181实现，4个8位寄存器组用1片EPM7064实现。

(8)每一条机器指令的时序采用不定长机器周期方式，符合现代计算机设计思想。

1.3 TEC-8实验系统组成

TEC-8实验系统由电源模块、模型计算机、数字逻辑实验区组成。其中电源部分在实验箱的下部，它输出+5V电压，最大负载电流3A，具有抗+5V对地短路功能。220V交流开关在实验箱右侧，插座安装在实验箱的背面。实验台上有一个+5V电源指示灯。

1.4 逻辑测试笔

在数字电路实验中，对信号的测量是一个重要问题。常用的测试工具有示波器、万用表和逻辑测试笔。示波器的好处是直观、准确，用波形显示信号的状态，常用于对连续的周期波形进行测量，数字示波器对非周期信号的测量也很有效，缺点是造价较高。万用表价格便宜，使用方便，对信号电压能进行精确测量，缺点是不能测量脉冲信号。逻辑测试笔常用于测量信号的电平，判断

1.5.1 时序发生器

时序发生器产生模型计算机所需的节拍脉冲、节拍电位以及中断请求信号ITNQ。时序电路由一个1MHz晶振和2片GAL22V10（可编程逻辑器件）（U70和U71）组成。

TEC-8模型机执行一条微指令需要3个节拍脉冲T1、T2、T3，而且采用不定长机器周期，绝大多数指令采用2个周期W1、W2，少数指令需要一个机器周期W1或者3个机器周期W1、W2、W3。基本时序如图2所示：

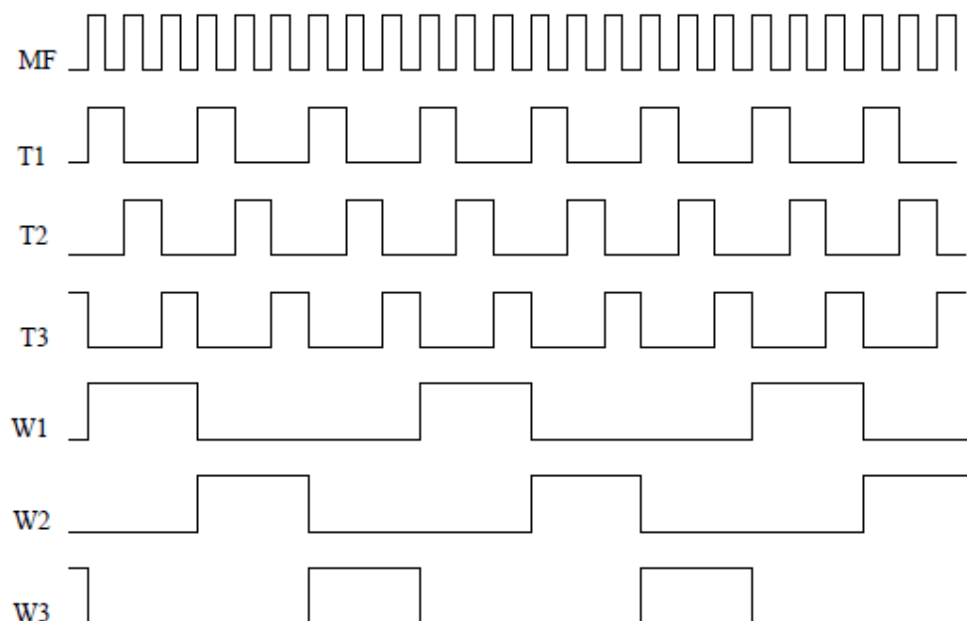


图2 TEC-8模型计算机时序图

图中，MF是晶振产生的1MHz基本时钟，T1、T2、T3是数据通路和控制器中各寄存器的节拍脉冲信号，印制板上已将它们和相关的寄存器相连。T1、T2、T3既供微程序控制器使用，也供硬连线控制器使用。W1、W2、W3只供硬连线控制器做节拍电位信号使用。一个机器周期包含一组T1、T2、T3。

1.5.2 算术逻辑运算单元ALU

运算器ALU由2片74LS181（U41和U42）加1片7474（双D型正边沿触发器）、1片74244（三态单向缓冲器）、1片74245（双向总线缓冲器）、1片7430（8输入与非门）组成，进行算术逻辑运算组成，在181选择端控制信号M和S0-S3控制下，ALU对A端口、B端口的数据进行各种算术、逻辑运算，产生8位数据结果、进位标志C信号和结果为0标志Z信号，当信号ABUS为1时，运算结果被送到数据总线DBUS，可以在D7～D0显示指示灯上看到结果。有

关74181运算的具体操作，请看74181的资料或教科书。

1.5.3 双端口通用寄存器组

双端口通用寄存器组由一片EPM7064（可编程逻辑器件）（U40）构成，向ALU提供两个运算操作数A和B，并保存运算结果。EPM7064内包含4个8位寄存器R0、R1、R2、R3，4选1选择器A，4选1选择器B和2-4译码器，如图1中虚线部分。2-4译码器产生寄存器写使能信号LR0、LR1、LR2和LR3，它们与DRW一起控制寄存器的数据写入。比如在LR0=1，DRW=1时，在T3上升沿时将DBUS的数据写入到R0寄存器。

1.5.4 数据开关SD7-SD0

八位数据开关是双向数据开关，拨到上面位置时输出1，拨到下面位置时输出0，用于编制程序并把数据放入存储器以及设置寄存器R3-R0的值。当SBUS=1时，通过拨动数据开关可以把数据通过SWD送往数据总线DBUS。SWD是一片74LS244（U50），SBUS是它的使能控制信号。

1.5.5 双端口存储器RAM

双端口存储器RAM由一片IDT7132及少量控制电路构成。IDT7132是2048×8的双端口静态随机存储器（SRAM），本实验系统实际只使用256个存储单元。IDT7132有二套独立的地址线、数据线和读写控制线，但在本实验系统中，双端口存储器的左端口是个真正的可读、写端口，数据通过DBUS出入，而右端口已被设置成只读方式，数据通过INS7～INS0总线被送往指令寄存器IR。

1.5.6 程序计数器PC、地址寄存器AR和中断地址寄存器IAR

程序计数器PC由2片GAL22V10（U53和U54）和1片74244（U46）组成，向双端口RAM的右端口提供存储器地址PC7～PC0，程序计数器具有PC复位功能，可从数据总线DBUS上装入初始PC数据，另外PC具有加1功能，和与转移偏移量相加功能。

地址计数器AR由1片GAL22V10（U58）组成，向双端口RAM的左端口提供存储器地址AR7～AR0，它具有从数据总线DBUS上装入初始AR功能和AR加1功能。

中断地址寄存器IAR是1片74374（八D型触发器）（U44），它保存中断时的程序地址PC。

1.5.7 指令寄存器IR

指令寄存器IR是一片74273（八D型触发器）（U47）。用于保存从双端口RAM中读出的指令。它的输出高4位IR7-IR4送往硬连线控制器及微程序控制器，低4位IR3-IR0送往2选1选择器，在程序控制模式下可作为寄存器的地址。

1.5.8 微程序控制器

微程序控制器产生TEC-8模型机所需的各种控制器信号。由5片HN58C65（U33、U34、U35、U36和U37）、1片74174（6D触发器）（U19）、3片7432（或门）（U21、U22和U29）和3片7606（非门）（U20、U30和U56）组成。5片HN58C65组成控制存储器，存放微程序代码；1片74174是微地址寄存器，3片7432和3片7408（与门）组成微地址转移逻辑。

1.5.9硬连线控制器

硬连线控制器由1片可编程器件EPM7128（U68）组成，产生TEC-8模型计算机所需的各种控制信号。

1.5.10控制信号切换电路

控制信号切换电路由7片74244（U7、U8、U9、U10、U14、U15和U16）和1个转换开关组成。拨动一次转换开关，就能够实现一次控制信号的切换。当转换开关拨到朝上位置时（红灯），TEC-8模型机使用硬连线控制器产生的控制信号；当转换开关拨到朝中间位置时（黄灯），TEC-8模型机处于独立状态，控制信号通过电平开关（K15~K0）产生；当转换开关拨到朝下位置时（绿灯），TEC-8模型机使用微程序控制器产生的控制信号。

1.5.112选1选择器

2选1选择器由1片74244（U45）组成，用于在指令中的操作数IR3-IR0和控制信号SEL3-SEL0之间进行选择，产生目的寄存器地址编码RD1、RD1以及产生源寄存器地址编码RS1、RS0。

1.5.12模型机指令系统

TEC-8模型机是个8位机，字长是8位。使用4位操作码，最多可容纳16条指令现已实现14条指令，见下表。

表2TEC-8模型计算机指令系统

名称	助记符	功能	指令格式							
			IR7	IR6	IR5	IR4	IR3	IR2	IR1	IR0
加法	ADDRd, Rs	Rd+Rs→Rd	0	0	0	1	Rd1	Rd0	Rs1	Rs0
减法	SUBRd, Rs	Rd-Rs→Rd	0	0	1	0	Rd1	Rd0	Rs1	Rs0
逻辑与	ANDRd, Rs	Rd&Rs→Rd	0	0	1	1	Rd1	Rd0	Rs1	Rs0
加 1	INC Rd	Rd+1→Rd	0	1	0	0	Rd1	Rd0	×	×
取数	LD Rd, [Rs]	[Rs] →Rd	0	1	0	1	Rd1	Rd0	Rs1	Rs0
存数	STRs, [Rd]	Rs→[Rd]	0	1	1	0	Rd1	Rd0	Rs1	Rs0
C条件转移	JCaddr	若C=1, 则 @+offset→PC	0	1	1	1	offset			
Z条件转移	JZaddr	若Z=1, 则 @+offset→PC	1	0	0	0	offset			
无条件转移	JMP [Rd]	Rd→PC	1	0	0	1	Rd1	Rd0	×	
输出	OUTRs	Rs→DBUS	1	0	1	0	×		Rs1	Rs0
中断返回	IRET	返回断点	1	0	1	1	×		×	
关中断	DI	禁止中断	1	1	0	0	×		×	
开中断	EI	允许中断	1	1	0	1	×		×	
停机	STOP	暂停执行	1	1	1	0	×		×	

注：XX代表随意值。Rs代表源寄存器号，Rd代表目的寄存器号。@是当前指令的地址值加1，offset是一个4位的有符号数，第3位是符号位，0代表正数，1代表负数。

指令系统中，指令操作码0000B没有对应的指令，实际上指令操作码0000B对应着一条nop指令，即什么也不做的指令。当复位信号为0时，对指令寄存器IR复位，使IR的值为00000000B，对应一条nop指令。这样设计的目的是适应指令流水的初始状态要求。

1.5.13 开关、按钮、指示灯

(一) 指示灯

为了在实验过程中观察各种数据，TEC-8实验系统设置了大量的指示灯。

(1) 与运算器有关的指示灯

信号名称	信号灯符号	备注
数据总线指示灯	D7~D0	即DBUS显示灯
运算器A端口数据指示灯	A7~A0	也可用来观察寄存器的值
运算器B端口数据指示灯	B7~B0	也可用来观察寄存器的值
进位信号指示灯	C	
结果为0信号指示灯	Z	

(2) 与存储器有关的指示灯

信号名称	信号灯符号	备注
程序计数器指示灯	PC7~PC0	右端口地址值
地址寄存器指示灯	AR7~AR0	左端口地址值
指令寄存器指示灯	IR7~IR0	
双端口存储器右端口指示灯	INS7~INS0	右端口数据

(3) 与微程序控制器有关的信号指示灯

信号名称	信号灯符号	备注
后继微地址指示灯	NuA5~NuA0	
判别位指示灯	P4~P0	
当前微地址	uA5~uA0	

(4) 节拍电位信号指示灯

按下启动按钮QD后，至少产生一组节拍脉冲T1、T2、T3，无法用指示灯显示T1、T2、T3的状态，因此设置了T1、T2、T3观测插孔，使用TEC-8实验台上提供的逻辑测试笔能够观测T1、T2、T3是否产生。

硬连线控制器产生的节拍电位信号W1、W2和W3有对应的指示灯。

(5) 其他指示灯

信号名称	信号灯作用
硬连线指示灯（红）	表明控制器为硬连线方式
独立指示灯（黄）	表明控制器为独立方式
微程序指示灯（绿）	表明控制器为微程序方式
SELCTL控制器2选1选择器指示灯	表明系统处于实验状态 (1) 或运行程序状态 (0)
+5V指示灯	指示+5V电源正常

(二) 按钮

(1) 启动按钮QD

按一次启动按钮QD，则产生2个脉冲QD和QD#，一正一负，其中正脉冲启动节拍脉冲信号T1、T2、T3。

(2) 复位按钮CLR

按一次复位按钮CLR，则产生2个脉冲CLR和CLR#，一正一负，其中负脉冲使模型机复位，处于初始状态。

(3) 中断按钮PULSE

按一次中断按钮PULSE，则产生2个脉冲PULSE和PULSE#，一正一负，其中正脉冲向模型机发出中断请求。

（三） 开关

（1） 数据开关SD7-SD0

用于向寄存器写入数据、向存储器写入程序或者用于设置存储器初始地址。上拨为1，下拨为0.

（2） 电平开关K15-K0

用于设置信号的电平。

（3） 单微指令开关DP

单微指令开关控制节拍脉冲信号T1、T2、T3的数目。当DP上拨时，处于单微指令运行方式，每按一次QD按钮，只产生一组T1、T2、T3；当DP下拨时，处于连续运行方式，按一次QD按钮，开始连续产生T1、T2、T3，直到按一次CLR按钮或者控制器产生STOP信号为止。

（4） 控制器转换开关

上拨是使用硬连线控制器，中间是独立状态，下拨是使用微程序控制器。

（5） 编程开关

下拨，TEC-8模型机处于正常工作状态，上拨时，处于编程状态。在编程状态下，可以修改控制存储器中的微代码。

（6） 操作模式开关SWC、SWB、SWA

在微程序控制模式下的操作见表3：

表3操作模式

SWC	SWB	SWA	操作
0	0	0	启动程序运行
0	0	1	写存储器
0	1	0	读存储器
0	1	1	写寄存器
1	0	0	读寄存器
1	0	1	运算器组成试验
1	1	0	双端口存储器实验
1	1	1	数据通路试验

注：本课程运算器、双端口存储器及数据通路实验采用独立模式，不采用上表中的操作方式。

1.6 模型计算机控制信号的功能

图1中的各控制信号功能见下表

表4TEC-8模型计算机控制信号表

信号名称		说明
与运算器有关的信号	M、S3、S2、S1、S0	选择运算器的运算类型（M=0，算术运算；M=1，逻辑运算）
	CIN	运算器最低位的进位输入信号。为0时，运算器最低位有进位
	ABUS	将运算结果数据送数据总线控制信号，高电平有效（即ABUS=1时，运算器的结果被打入DBUS；ABUS=0时，运算器的结果被禁止送到DBUS.）
	LDC	进位输出控制信号，当LDC=1时，在T3上升沿，将进位结果打入C标志寄存器。
	LDZ	结果为零输出控制信号，当LDZ=1时，在T3上升沿，将数据打入Z标志寄存器。
	RD1、RD0	4选1选择器A端口（A7~A0）选择信号及2-4译码器的输入信号，2-4译码器的输出用于控制寄存器的写使能信号；非独立操作时，当SETCTL=1时，RD1=SEL3，RD0=SEL2，当SETCTL=0时，RD1=IR3，RD0=IR2，独立操作时可直接由开关控制。RD1RD0=11时，A端口=R3，LR3=1；RD1RD0=10时，A端口=R2，LR2=1；RD1RD0=01时，A端口=R1，LR1=1；RD1RD0=00时，A端口=R0，LR0=1.
	RS1、RS0	4选1选择器B端口（B7~B0）选择信号，非独立操作时，当SETCTL=1时，RS1=SEL1，RS0=SEL0；当SETCTL=0时，RS1=IR1，RS0=IR0；独立操作时可直接由开关控制。RS1RS0=11时，B端口=R3；RS1RS0=10时，B端口=R2；RS1RS0=01时，B端口=R1；RS1RS0=00时，B端口=R0.
	DRW	寄存器写控制信号。当DRW=1且LRX=1时，在T3的上升沿将DBUS上的数据写入寄存器。比如，当DRW=1且LR0=1时，在T3的上升沿将DBUS上的数据写入寄存器R0。
	SBUS	将数据开关数据SD7~SD0送数据总线控制信号，高电平有效。
与存储器有关的信号	MBUS	双端口存储器左端口读使能信号。当MBUS=1，且MEMW=0时，将左端口数据送到DBUS。
	MEMW	双端口存储器左端口写使能信号。当MBUS=0，MEMW=1时，在T2=1期间，将DBUS上数据写入地址为AR7~AR0指示的存储器单元。
	CLR#	模型计算机复位信号，在CLR#=1时，AR和PC寄存器清零信号。
	LAR	AR寄存器锁存使能信号，当LAR=1，ARINC=0时，在T3的上升沿将DBUS上的数据写入AR7~AR0.
	ARINC	AR寄存器加1使能信号，当ARINC=1时，在T3的上升沿AR值加1.
	PCADD	PC寄存器加偏移量使能信号。当PCADD=1时，在T3上升沿，PC+(IR3~IR0)→PC.
	LPC	PC寄存器锁存使能信号，当LPC=1，PCINC=0时，在T3的上升沿将DBUS上的数据写入PC7~PC0.
	PCINC	PC寄存器加1使能信号，当PCINC=1时，在T3的上升沿PC值加1.

	LIR	IR寄存器锁存使能信号，当LIR=1时，在T3的上升沿将INS7-INS0上的数据写入IR7~IR0。
与 控 制 器 有 关 信 号	LIAR	中断寄存器锁存使能信号，当LIAR=1时，在T3的上升沿将PC值保存在IAR中。
	IABUS	中断寄存器输出使能信号，当IABUS=1时，IAR寄存器数据送到DBUS上。
	INTDI	中断屏蔽标志信号，当INTDI=1时，禁止TEC-8响应中断。
	INTEN	中断允许标志信号，当INTEN=1时，允许TEC-8响应中断。
	SELCTL	实验系统状态选择信号，当SETCTL=1，TEC-8实验系统处于实验台状态；当SETCTL=0，TEC-8实验系统处于运行程序状态；
	NuA5-NuA0	微程序控制器中微指令的后继地址字段信号。
	P4-P0	微程序控制器中微指令的P字段信号。
	STOP	时序发生器结束信号，高有效。

注：SBUS、ABUS、MBUS都是控制数据往DBUS上输入，因此三个信号同一个时刻只能有一个有效。

第 2 章运算器组成实验

一、实验目的

- 1、熟悉双端口通用寄存器组的读写操作。
- 2、熟悉简单运算器的数据传送通路。
- 3、验证运算器74LS181的加、减、与、或功能。
- 4、按给定数据，完成指定的算术、逻辑运算。
- 5、熟悉逻辑测试笔的使用方法。

二、实验设备

1. TEC-8计算机组成实验系统一台
2. 逻辑测试笔一支

三、实验电路及原理

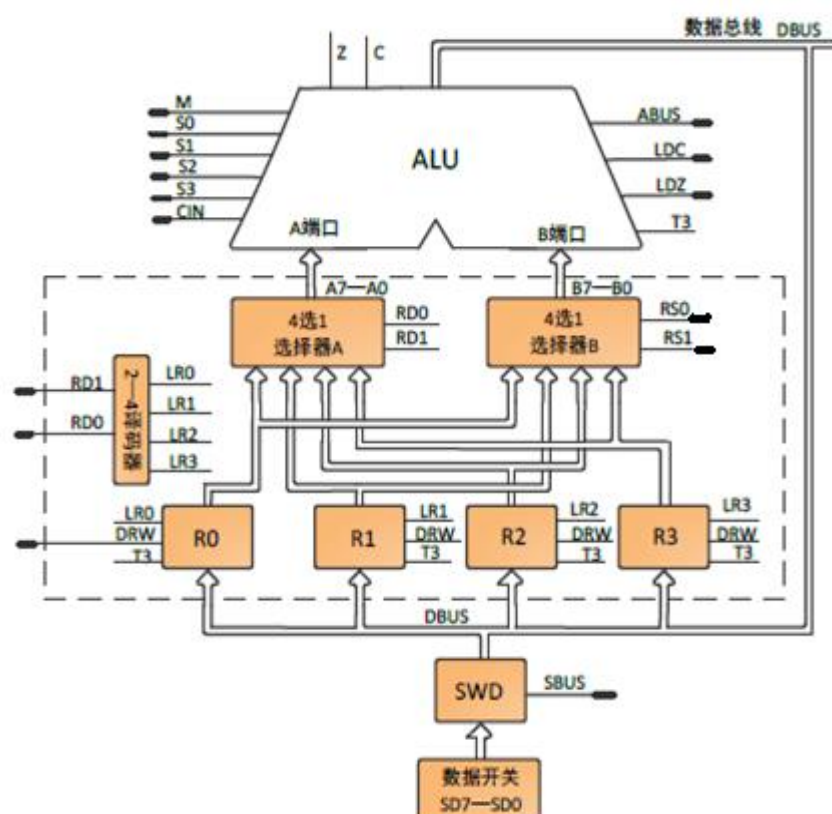


图3 运算器组成实验电路

图3示出了本实验所用的运算器数据通路图。该运算器字长为8位，可以输

出进位和结果为零标志，参与运算的数据必须事先保存在寄存器中，通过4选1选择器送往ALU（由2片181级联而成）的A端口和B端口，选择器的地址分别由RD1、RD0和RS1、RS0控制，而且，寄存器写端口的地址由RD1、RD0控制，可参见表3运算器信号部分的说明。

运算器的运算类型由M和S3-S0控制，具体说明可参见教科书的表2.6。运算的结果可以通过DBUS观看，也可以将结果存入寄存器。写入寄存器的控制信号为DRW，高有效，在DRW=1，且LR3/2/1/0=1时，在T3的上升沿可以将DBUS上的数据写入R3/2/1/0寄存器，写操作结束后，要及时将DRW置0。

T3为时序脉冲信号，在单拍操作时，每按一次QD按钮，则时序电路就顺序产生一组单脉冲T1、T2、T3。（将DP开关置1时，为单拍操作。）

因为本次实验采用独立方式控制，图3中所有带有黑把的信号表明需要用电平开关提供，没有黑把的信号已经接好，比如T3信号不需要外接，DRW信号只要接一个即可。

四、实验任务

1. 对下列3组数据进行加、减、与、或运算。

(1) A=0F0H, B=10H; (2) A=03H, B=05H; (3) A=55H, B=0AAH.

五、实验步骤

1、分配好信号与电平开关的对应关系，并接好线路，接线时注意顺时针是锁紧，逆时针是放松；

电平开关	
信号名称	SBUS DRWRD1RD0 RS1RS0 ABUS LDC LDZ CIN M S3 S2 S1 S0

2、将控制器转换开关拨到独立位置，将编程开关设置为正常位置，将DP拨到向本次实验中所需的控制信号由电平开关提供，且单拍操作，因此将控制器转换开关拨到独立位置，将编程开关设置为正常位置，将DP拨到向上（DP=1）位置；

3、确认无误后，打开电源；

4、按顺序送控制信号将参与运算的数据写入寄存器R0和R1，操作时注意观看A、B指示灯，验证数据是否正确；

5、按顺序送控制信号将参与运算的数据分别通过A、B端口进行加、减、与、或运算。

6、重复3、4步骤，完成3组数据的运算，做好记录。

六、实验要求

1. 做好实验预习, 掌握运算器的数据传输通路及其功能特性, 填好下列预习表:

(1) 运算器类型信号值:

运算类型	M	S3	S2	S1	S0	CIN
加						
减						
与						
或						

(2) 实验步骤记录表

功能	SD SBUS DRWRD1RD0 RS1RS0 ABUS LDC LDZ CIN M S3 S2 S1 S0	DBUS A B C Z
SD→R0		
SD→R1		
R0+R1→DBUS		
R0-R1→DBUS		
R0&R1→DBUS		
R0/R1→DBUS		

注: 电平开共有16个, 本次实验用到15个。

在对寄存器写数据时, DRW为1, 在改变数据开关时, 为避免误写, 在DRW置0情况下, 再改数据开关, 即需要用到DRW的操作时, 要最后一个设置DRW=1, 结束后, 第一个设置DRW=0.

2. 写出实验报告, 内容是:

- (1) 实验目的;
- (2) 实验原理图;
- (3) 实验记录表及实验结果表;

实验结果表:

实验数据		实验结果									
数A	数B	加			减			与		或	
		数据结果	C	Z	数据结果	C	Z	数据结果	Z	数据结果	Z

(4) 写出实验心得体会 (过程总结)。

第3章 数据通路组成实验

一、实验目的

1. 了解双端口静态存储器IDT7132的工作特性及其使用方法；
2. 了解半导体存储器怎样存储和读取数据、双端口存储器怎样并行工作；
3. 熟悉TEC-8模型计算机的数据通路，掌握数据通路中各个控制信号的作用和用法。
4. 掌握数字通路中数据流动路径。

二、实验设备

1. TEC-8计算机组成原理实验系统一台
2. 逻辑测试笔一支

三、实验电路及原理

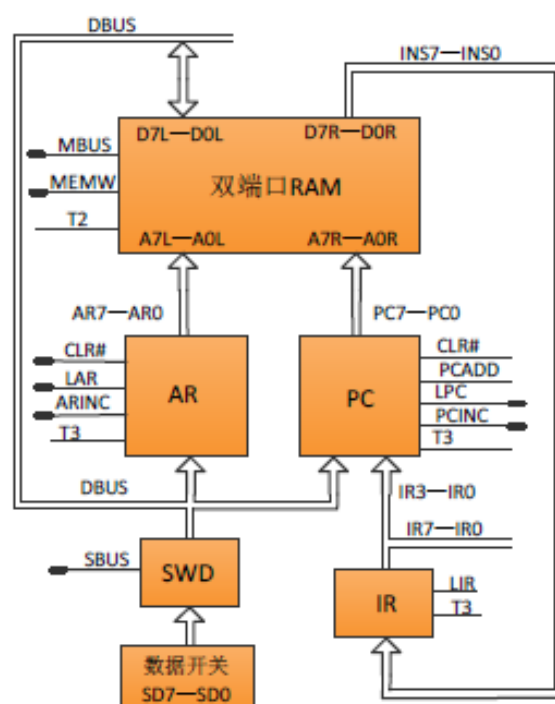


图4 双端口存储器电路图

图4示出了双端口存储器的电路图。双端口存储器主要由一片IDT7132组成，IDT7132的容量是2048x8位，其中左右地址线的A8-A10引脚已被接地，因此实际可使用的存储容量为256字节，地址只要8位即可。左端口的地址由AR寄存器提供，数据端口接数据总线DBUS；右端口的地址由PC计数器提供，数据端

口接指令总线INS。两个总线的数据都可以用相应的指示灯观察。

IDT7132原有六个控制引脚：CEL#、LR / W#、OEL#、CER#、RR/W#、OER#，分别控制左右二个端口的读写功能，在TEC-8系统中，已经将右端口设置成只读了，所以不需要用控制线，右端口一直处于读状态。只有左端口可以进行读或写操作，而且将控制信号名改为由MBUS、MEMW和T2控制，控制方式如下：

(1) 当MEMW=1，MBUS=0时，在T2为1时（按QD键）将DBUS中的数据写入AR指定的存储单元（写入功能）；

(2) 当MEMW=0，MBUS=1时，将AR指定的存储单元内容送到DBUS（读出）。

AR寄存器具有地址锁存和加1功能；PC计数器除了有地址锁存和加1功能外，还具有加偏移量功能，在写和读存储器时都要先从数据开关将地址送到AR或PC寄存器，操作方式如下：

(1) 先将数据开关设置成地址数据，当LAR/LPC=1，ARINC/PCINC=0，在T3上升沿（按QD键）时，DBUS中的数据被写入到AR/PC寄存器，在AR/PC的显示灯上可以观看到地址数据；

(2) 当LAR/LPC=0，ARINC/PCINC=1，在T3上升沿（按QD键）时，AR/PC的数据加1。

注意：LAR/LPC和ARINC/PCINC不能同时有效（即不能同时为1）。

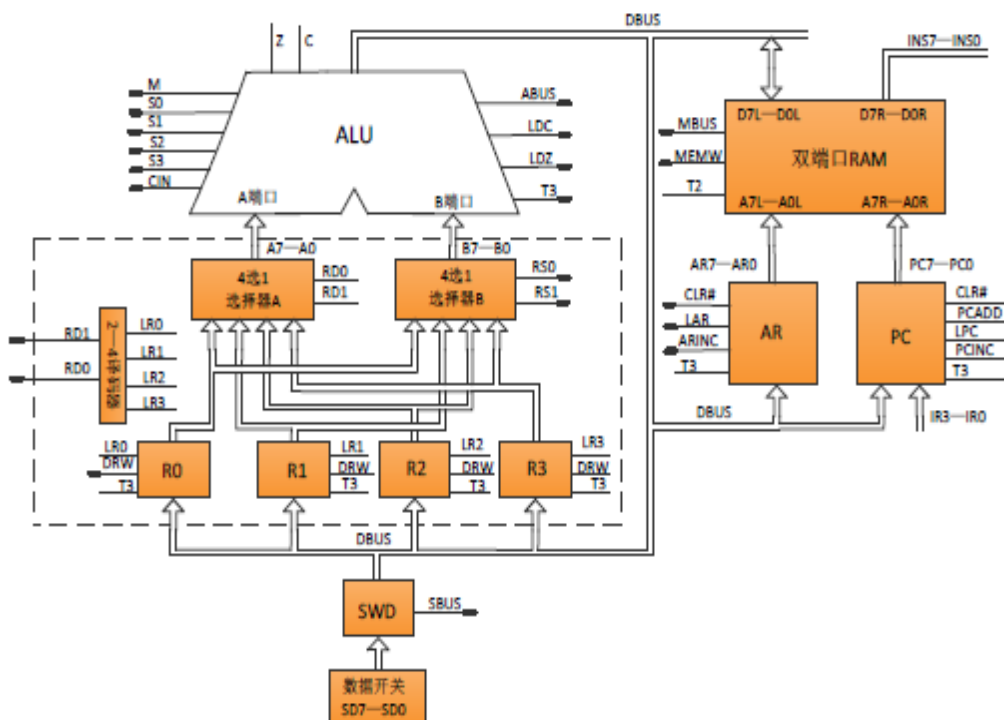


图5 数据通路实验电路图

数据通路实验电路图如图5所示。它是将双端口存储器模块和运算器模块连接在一起形成的。

本实验要求在寄存器和存储器之间进行数据传送，以体验数据通路的控制过程。其中通过数据开关将数据写入寄存器已在运算器实验介绍过，这里不再重复。

在寄存器与存储器之间传送数据时，ALU要处于数据传送状态（将B口作为传送状态的信号值：M=1，S3-S0为1010，CIN置成1）。由RS1RS0确定的寄存器数据通过4选1选择器B送到ALU的B端口，经过ALU传送到DBUS上，再写入到存储器的相关单元中去。

注：将存储器的数据送入到寄存器中去的时候，须通过RD1RD0选择寄存器。

四、实验任务

（一）双端口存储器的读、写

1. 从存储器地址10H开始，通过左端口连续向双端口RAM中写入4个数：85H、60H、38H、0AAH。在写的过程中，可以通过右端口实时检测写的数据是否正确。
2. 从存储器地址10H开始，连续从双端口RAM的左端口和右端口同时读出存储器的内容。

（二）认识数据通路

1. 将数75H写到寄存器R0，数28H写到寄存器R1；
2. 将寄存器R0、R1中的数分别写入到存储器20H~21H单元中。
3. 再将存储器20H~21H单元中的数据分别写入到寄存器R3、R2中。
4. 显示4个寄存器的值，检查数据传送是否正确。

五、实验步骤

（一）双端口存储器的读、写

- 1、分配好信号与电平开关的对应关系，并接好线路；

电平开关	
信号名称	SBUS LAR LPC ARINC PCINC MBUS MEMW

- 2、将控制器转换开关拨到独立位置，将编程开关设置为正常位置，将DP拨到向上（DP=1）位置；
- 3、确认无误后，打开电源：（CLR#复位信号已接好，不用连接。）
- 4、按顺序送控制信号将地址10H送到AR和PC寄存器，操作时注意观看AR、PC指

示灯，验证数据是否正确，填好实验记录表；

5、按顺序送控制信号将数据通过左端口写入AR指定的单元，并同时通过右端口验证数据是否正确。注意此操作在写和读的同时，也要进行AR和PC的加1功能，以便写、读下个存储单元，但是，AR锁存的是下一个要写的单元地址，而PC锁存的是当前写的单元地址，所以PC加1功能需滞后一步；

5、重复4步骤，完成另外3组数据的写入；

6、按顺序送控制信号将地址10H送到AR和PC寄存器，同时从左、右端口读出数据，连续读4组数据。

实验记录表：

功能	步骤	SDSBUS LAR LPC ARINC PCINC MBUS MEMW	AR DBUS PC INS
存储器写			
存储器读			

SD为数据开关的值，AR、DBUS、 PC、 INS为指示灯的值（QD按下后的值）。

注：SBUS，MBUS不能同时为1，MEMW为存储器写信号，应最后拨成1，最先拨成0；

（二）认识数据通路

1、分配好信号与电平开关的对应关系，并接好线路。由于信号比较多，对于一些固定值的信号可以直接接电源线，比如：M, S3~S0, CIN等，另外，为了验证存储器的值写入的是否正确，可以利用右端口读的功能；

电平开关	
信号名称	

- 2、将控制器转换开关拨到独立位置，将编程开关设置为正常位置，将DP拨到向上（DP=1）位置；
- 3、确认无误后，打开电源；
- 4、依次写数据到2个寄存器，观察数据值是否正确；
- 5、依次将数据从寄存器传送到存储器，注意每步观察数据值是否正确；
- 6、依次将数据从存储器传送到寄存器，注意每步观察数据值是否正确；
- 7、依次读2个寄存器的值，验证数据是否正确。

实验记录表

功能	步骤	SD	DBUS	A	B	AR
寄存器写						
寄存器到存储器						
存储器到寄存器						
寄存器读						

实验重复的步骤可以只写一个。

六、实验要求

1. 做好实验预习，仿照前二个实验列表写出实验中每个步骤应提供的信号值；
2. 写出实验报告，内容是：
 - (1) 实验目的。
 - (2) 实验原理图。
 - (3) 实验步骤记录表。
 - (4) 以**流程图**方式写出实验过程，每步对应的控制信号值。
 - (5) 心得体会。

第 4 章 微程序控制器实验

一、实验目的

- 1. 掌握微程序控制器的组成原理。
- 2. 掌握TEC-8模型计算机中微程序控制器的实现方法，尤其是微地址转移逻辑的实现方法。
- 3. 理解条件转移对计算机的重要性。

二、实验设备

- 1. TEC-8计算机组成原理实验系统一台
- 2. 逻辑测试笔一支

三、实验电路即原理

1. 微指令格式

微指令格式如图6所示。微指令字长39位，其中顺序控制部分11位（判别字段5位，后继微地址6位）。操作控制字段28位，直接控制。微命令信号的功能见表3。

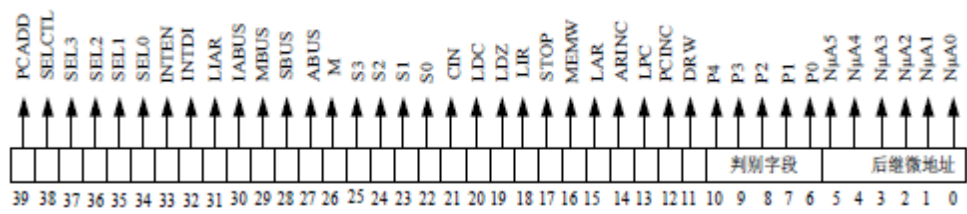


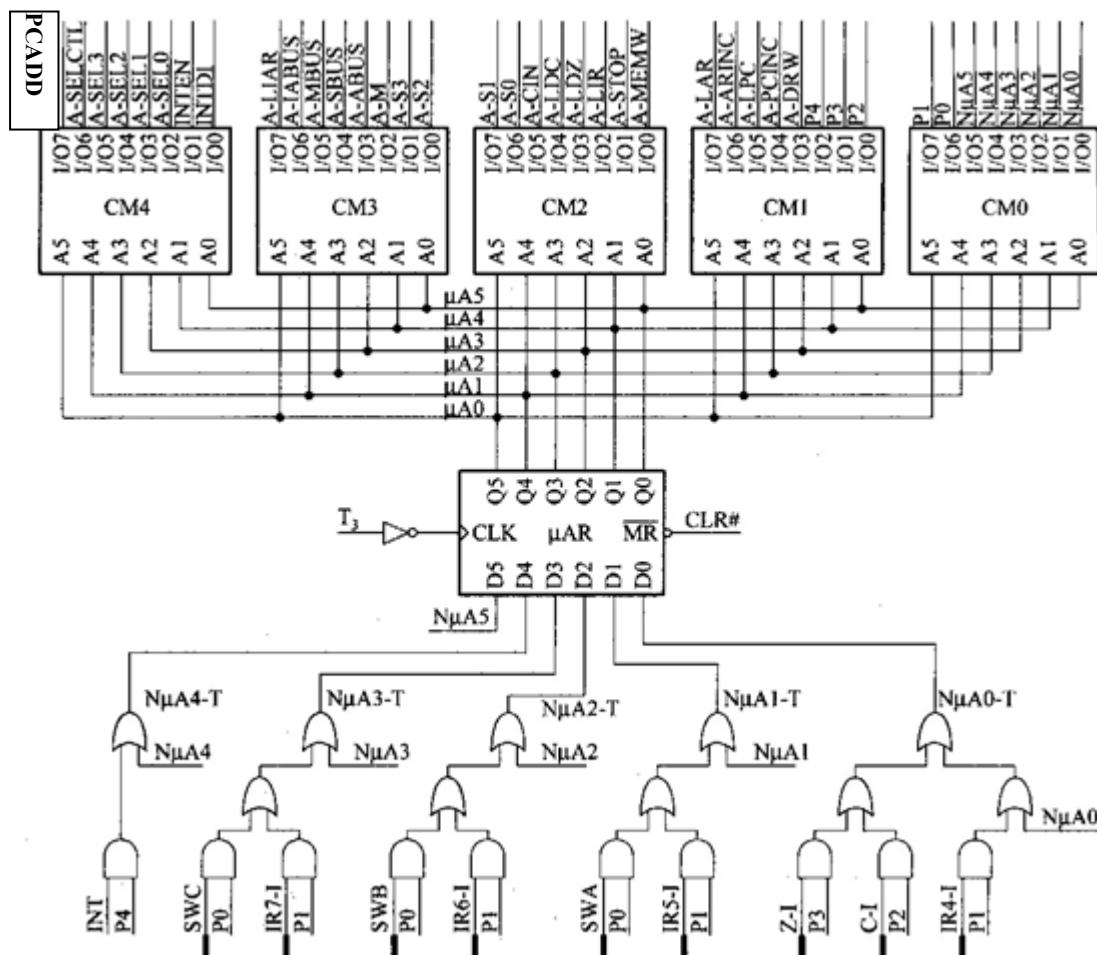
图6 微指令格式

2. 微程序流程图

图7列出了14条用户指令和5条控制台指令的流程。

3.微程序控制电路

如图8所示，其中微指令信号名称与图6相对应，因为TEC-8实验系统有微程序和硬布线二个控制器，为了区别，在微程序控制器产生的信号加了前缀“A-”。



控制存储器由5片E²PROM(HN58C65)组成, HN58C65是8KX8位的芯片, 地址输入端有13位: A12--A0, 实验中只用到A5--A0, A12--A6接地, 即实际的使用存储空间为64个单元, 可以存储64条微指令。微指令共有39个, 其中CM4存储器只用了7根数据线, 最高位为空。

微地址寄存器uAR共6位，用一片8D触发器74LS174组成，带有异步清零端。当按下复位键时（CLR#）时，uA5~uA0为00H，供读出第一条微指令使用。由图8可以看出，在一条微指令结束时，在T3的下降沿将微地址转移逻辑电路产生的下一条微指令地址NuA5、NuA4~T~NuA0~T写入微地址寄存器。

微地址转移逻辑由若干个与门和或门组成,实现“与-或”逻辑。微地址转移逻辑的多个输入信号中,SWC、SWB、SWA是模式开关,它们用来决定控制台指令微程序的分支。C-I是运算器进位信号,Z-I是结果为零标志位,IR7-

I~IR4-I是机器指令的操作码字段，INT是中断请求申请信号，根据它们的值来控制微程序转向某个特定的分支。具体可见下表：

CLR#	P4P3P2P1P0	T3	uA5	uA4	uA3	uA2	uA1	uA0
0	X X X X X	X	0	0	0	0	0	0
1	0 0 0 0 0	↓	NuA5	NuA4	NuA3	NuA2	NuA1	NuA0
1	0 0 0 0 1	↓	NuA5	NuA4	SWC	SWB	SWA	NuA0
1	0 0 0 1 0	↓	NuA5	NuA4	IR7-I	IR6-I	IR5-I	IR4-I
1	0 0 1 0 0	↓	NuA5	NuA4	NuA3	NuA2	NuA1	C
1	0 1 0 0 0	↓	NuA5	NuA4	NuA3	NuA2	NuA1	Z
1	1 0 0 0 0	↓	NuA5	INT	NuA3	NuA2	NuA1	NuA0

四、实验任务

1. 正确设置模式开关SWC、SWB、SWA，用单微指令方式（DP=1）跟踪控制台操作读寄存器、写寄存器、读存储器、写存储器的执行过程，记录下每一步的微地址uA5~uA0，判别位P4~P0和有关控制信号的值，与微程序流程图对照，理解微程序的设计原理。
2. 正确设置操作码IR7~IR4，用单微指令方式（DP=1）跟踪除停机指令STOP之外的所有指令的执行过程，记录下每一步的微地址uA5~uA0，判别位P4~P0和有关控制信号的值，与微程序流程图对照，理解微程序的设计原理。
3. 通过寄存器写功能，将数据0F0H、10H、55H、0AAH分别写入R0、R1、R2、R3。
4. 通过读寄存器功能，验证上述数据是否正确。
5. 通过存储器写功能，将上述4个数据写入10H开始的存储器单元内。
6. 通过存储器读功能，验证上述数据是否正确。

五、实验步骤

1. 将控制器转换开关拨到微程序位置，编程开关设置成正常位置，将DP=1，即单拍状态。
2. 将信号IR4-I、IR5-I、IR6-I、IR7-I、C-I、Z-I依次通过接线孔与电平开关连接。通过拨动电平开关送上述信号值。
3. 依次操作，完成实验任务1和2，填好记录表（注表中把重复的已经去掉，比如取指部分）

4. 根据测试的微命令信号值，认真阅读图1，写出每个微指令所完成的微操作。
5. 正确理解寄存器和存储器读写流程完成实验任务3到6.

实验记录表

功能	微地址 uA5~uA0	NuA5~NuA0	P4~P0	微指令完成的微操作 (数据流向)
复位	00H			SEL=0011, P0=1, 下条微地址由 NuA5NuA4SWCSWBSWANuA0决定。
写寄存器	09H			R0→A, R1→B, SD→R0
读寄存器				
读存储器				
写存储器				
中断				
取指				
ADD				
SUB				
AND				
INC				
LD				
ST				
JC (C=0) (C=1)				
JZ (Z=0) (Z=1)				
JMP				
OUT				
IRET				
DI				
EI				
STP				

注：指令部分都是从取指开始（微地址为01H），该部分只要写一次即可。

进入中断的步骤：1. 执行EI；2. 执行一条任何有P4的微指令时，先按住PULSE键不动，再按QD键。

六、实验要求

1. 做好实验预习，掌握微程序控制器的工作原理。
2. 写出实验报告，内容是：
 - (1) 实验目的。
 - (2) 实验原理图。
 - (3) 实验任务1、2的记录表。
 - (4) 心得体会。

第 5 章 CPU 组成与机器指令的执行实验

一、实验目的

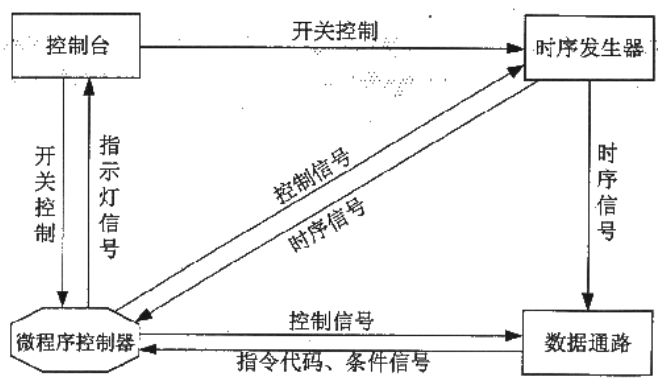
- 1. 将微程序控制器同执行部件(整个数据通路)联机，组成一台模型计算机。
- 2. 执行一个简单的程序，掌握机器指令与微指令的关系。
- 3. 理解计算机如何取出指令、如何执行指令、如何在一条指令执行结束后自动取出下一条指令并执行，牢固建立计算机的整机概念。

二、实验设备

- 1. TEC-8计算机组成原理实验系统一台
- 2. 逻辑测试笔一支

三、实验原理

本次实验将前面几个实验中的所有电路，包括运算器、存储器、通用寄存器组、微程序控制器等模块组合在一起，构成一台简单的模型机，控制信号由微程序控制提供。



四、实验任务

- 1. 将下表的程序按机器指令格式手工汇编成二进制机器代码，此项任务请在预习时完成。

地址	指令	机器码 (16进制)	地址	指令	机器码 (16进制)
00H	LD R0,[R3]		0AH	INC R2	
01H	INC R3		0BH	ST R2, [R2]	
02H	LD R1,[R3]		0CH	AND R0, R1	
03H	SUB R0, R1		0DH	OUT R2	

04H	JZ 0BH		0EH	STP	
05H	ST R0, [R2]		0FH	85H	
06H	INC R3		10H	23H	
07H	LD R0, [R3]		11H	0EFH	
08H	ADD R0, R1		12H	00H	
09H	JC 0CH				

注意表中地址0FH、10H、11H、12H中存放的不是指令，而是数值。此程序运行前设置初值：(R2)=12H，(R3)=0FH。

2. 将信号IR4-I、IR4-I、IR6-I、IR7-I、C-I、Z-I依次通过接线孔与信号IR4-0、IR4-0、IR6-0、IR7-0、C-0、Z-0连接，使TEC-8模型计算机成为能够运行程序的整机系统。
3. 将程序及数据写入存储器，并且给R2、R3置初值，跟踪执行程序，记录数据并检查结果。

五、实验步骤

1. 将控制器转换开关拨到微程序位置，编程开关设置成正常位置，将DP=1，即单拍状态。
2. 按实验任务的要求接好线路，打开电源。
3. 将程序代码及数据写入存储器；
4. 验证程序代码及数据是否正确；
5. 给R2、R3寄存器置初值（R2是12H,R3是0FH）；
6. 验证寄存器初值是否正确；
7. 将SWC=0、SWB=0、SWA=0，按复位键，验证PC是否为00H；
8. 单拍运行程序，直到程序结束，记录数据及结果（注：只要记录实际有变化的数据）。
9. 重新设置存储器及寄存器的数据（程序代码没有破坏，在没有关机的前提下，不用重新设置），将DP=0，在连续状态下重新运行程序，读出结果。（此条选作。）

实验记录表

指令地址	指令助记符	uA5~ uA0	PC	IR	AR	A	B	D	C Z	实际完成微操作
	复位									
00	LD R0,[R3]									
01	INC R3									
02	LD R1,[R3]									
03	SUB R0, R1									
04	JZ 0BH									
05	ST R0, [R2]									
06	INC R3									
07	LD R0, [R3]									
08	ADD R0, R1									
09	JC 0CH									
0A	INC R2									
0B	ST R2, [R2]									
0C	AND R0, R1									
0D	OUT R2									
0E	STOP									

寄存器结果值: R0= , R1= , R2= , R3= 。 [12H]= 。

七、实验要求

1. 务必做好实验预习，这样在实验中才能做到头脑清醒、思路清晰、忙而不乱、心中有数。

2. 根据实验任务的要求，预习时做好必要的准备，填好相关表格、数据和理论分析值，以便与实验值对照。

3. 写出实验报告，内容是：

- (1) 实验目的。
- (2) 实验原理图（图2）
- (3) 实验记录表。
- (4) 心得体会

第6章 中断原理实验*

一、实验目的

- 1、从硬件、软件结合的角度，模拟单级中断和中断返回的过程；
- 2、通过简单的中断系统，掌握中断控制器、中断向量、中断屏蔽等概念；
- 3、了解微程序控制器与中断控制器协调的基本原理；
- 4、掌握中断子程序和一般程序的本质区别，掌握中断的突发性和随机性。

二、实验设备

1. TEC-8计算机组成实验系统一台
2. 逻辑测试笔一支

三、实验原理

TEC-8模型计算机中有一个简单的单级中断系统，只支持单级中断、单个中断请求，有中断屏蔽功能。

TEC-8模型计算机中有2条指令用于允许和屏蔽中断。DI指令称作关中断指令，此条指令执行后，即使发生中断请求，TEC-8也不响应请求。EI指令称作开中断指令，此条指令执行后，TEC-8响应中断请求。

为了保存中断断点的地址，以便程序被中断后能够返回到原来的地址继续执行，设置了一个中断地址寄存器IAR，见图1，当信号LIAR为1时，在T3上升沿，将PC保存在IAR中；当信号IABUS=1时，IABUS中保存的PC送数据总线DBUS，指示灯显示出中断地址。由于本实验系统只有一个断点寄存器而无堆栈，因此只支持一级中断。

中断向量即中断服务程序的入口地址，由数据开关SD7~SD0提供。

一条指令的执行由若干条微指令构成。TEC-8模型计算机中，除指令EI、DI外，每条指令执行过程的最后一条微指令都包含判断位P4，用于判断有无中断发生，如果这时INT=1，则转移到微地址11H，进入中断处理；如果INT=0，则转移到微地址01H，继续取下一条指令。

在11H微指令中，产生INTTDI信号，禁止新的中断发生，产生LIAR信号，将PC的当前值保存在IAR中，产生STOP信号，等待手动设置中断向量。在数据开关上设置好中断地址后，机器将中断向量读到PC后，转到中断服务程序继续执行。

执行一条IRET指令，产生IABUS信号，将断点地址送到DBUS，并产生LPC信号，将地址装入PC，恢复被中断的程序。

发生中断时，开中断由硬件负责，而中断现场的保存和恢复由中断服务程序完成。中断服务程序的最后两条指令一般是开中断EI和中断返回指令IRET。为了保证从中断服务程序能够返回到主程序，EI指令后，不允许立即被中断，因此，EI指令执行过程的最后一条微指令中不包含P4位。

四、实验任务

1. 将下列主程序和中断服务程序的机器代码写出来，此项任务请在预习时完成。：

中断服务程序			主程序		
地址	指令	机器代码	地址	指令	机器代码
45H	ADD R0, R0		00H	EI	
46H	EI		01H	INC R0	
47H	IRET		02H	INC R0	
			03H	INC R0	
			04H	INC R0	
			05H	INC R0	
			06H	INC R0	
			07H	INC R0	
			08H	INC R0	
			09H	JMP [R1]	

2. 参照上一实验，将TEC-8连接成一个完整的模型计算机；
3. 将程序及数据写入存储器，为了保证程序能够循环执行，应当将R1预先设置为01H。R0的初值为0。
4. 将主程序和中断服务程序执行3遍，列表记录中断有关信号的变化情况。特别记录好断点和R0的值。
5. 将存储器00H的EI指令改为DI，重新运行程序，记录发生的现象。

五、实验步骤

1. 将控制器转换开关拨到微程序位置，编程开关设置成正常位置。
2. 将信号IR4-I、IR4-I、IR6-I、IR7-I、C-I、Z-I依次通过接线孔与信号IR4-0、IR4-0、IR6-0、IR7-0、C-0、Z-0连接，使TEC-8模型计算机成为能够运行程序的整机系统。按实验任务的要求接好线路，打开电源。
3. 将程序代码及数据写入存储器，给R0、R1赋初值；
4. 执行3遍主程序和中断子程序：
 - (1) 将R0设置成00H，R1设置成01H

- (2) 将DP=0，即连续状态，按CLR#后，再按QD键，启动程序从00H执行。
- (3) 按一次PULSE按钮，产生一个中断请求信号PULSE，中断主程序的运行。记录这时的断点PC、在指示灯B7-B0上显示出的R0的值和其他有关中断的信号。
- (4) 将DP=1，在数据开关上设置中断服务程序的入口地址45H。按QD键，一步一步执行中断服务程序，直到返回到断点为止。
- (5) 重复(2)-(4)2遍。
- (6) 将存储器00H的指令改为DI，连续运行程序，按PULSE按钮，观察有什么现象发生。

实验记录表

		PC	uA5~uA0	A	B	D	C Z
DP=0	第1次按PULSE						
DP=1	ADD R0, R0						
	EI						
	IRET						
DP=0	第2次按PULSE						
DP=1	ADD R0, R0						
	EI						
	IRET						

改为DI后，得到什么结论？

六、实验要求

1. 做好实验预习, 填好预习表:
2. 写出实验报告, 内容是:
 - (1) 实验目的;
 - (2) 实验原理图;
 - (3) 预习表
 - (4) 实验记录;
 - (5) 写出实验心得体会。