

Пример построения учебной микроЭВМ.

Лабораторная работ №1

1 Пример задания

2 Разработка архитектуры ЭВМ

и программирование

2.1 Архитектура

2.2 Алгоритм деления чисел нацело

2.3 Граф-схема программы деления

2.4 Программа деления чисел нацело

2.5 Коды операций. Кодирование программы и распределение памяти программ и данных

3 Разработка структуры и рабочего цикла ЭВМ

3.1 Структура

3.2 Рабочий цикл ЭВМ

4 Микропрограммная реализация ЭВМ

4.1 Структура моделируемых микропрограммируемых аппаратных средств

5 Ввод программы и данных

1 Пример задания

- Определить архитектуру ЭВМ, система команд которой состоит из одноадресных команд, использующих прямую адресацию.
- Разработать структурную схему и алгоритм работы ЭВМ; составить и отладить микропрограмму командного цикла ЭВМ.
- Составить и выполнить программу деления двух чисел нацело: $Z = \lfloor X/Y \rfloor$,
где X, Y, Z – целые положительные числа в диапазоне от 0 до 32767, размещаемые в ЗУ. Кроме результата Z , при делении необходимо формировать и записывать в ЗУ значение признака переполнения P ($P=1$, если $Y=0$; $P=0$, если Y не равно 0).

2 Разработка архитектуры ЭВМ и программирование

2.1 Архитектура

- Форматы данных. Данные представляются 16-разрядным двоичным кодом, старший разряд которого определяет знак числа.
- Программистская структура.

AC		
PS	RP	PZ
PC		

Аккумулятор

Регистр признаков

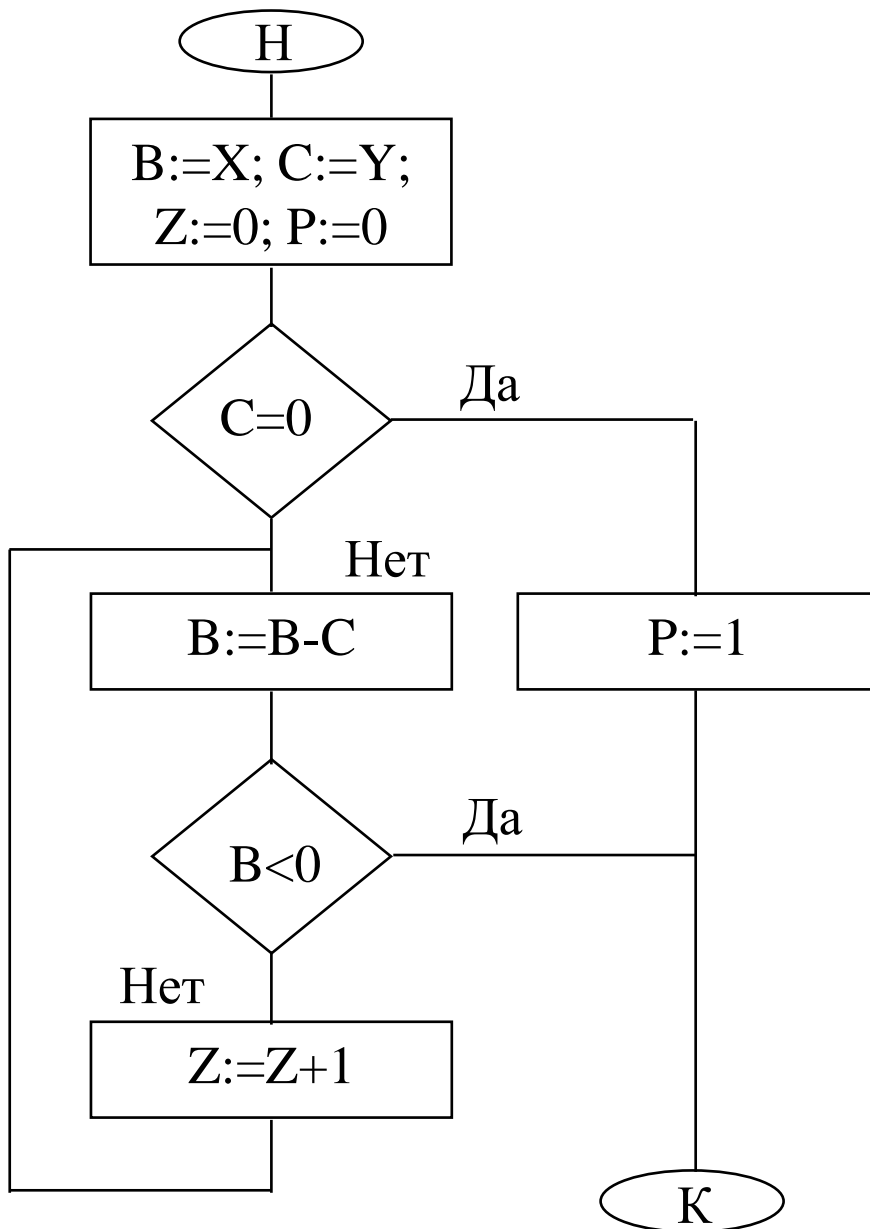
Программный счетчик

- Система команд. Команда состоит содержит два поля: код операции К и адреса А (см. таблицу).

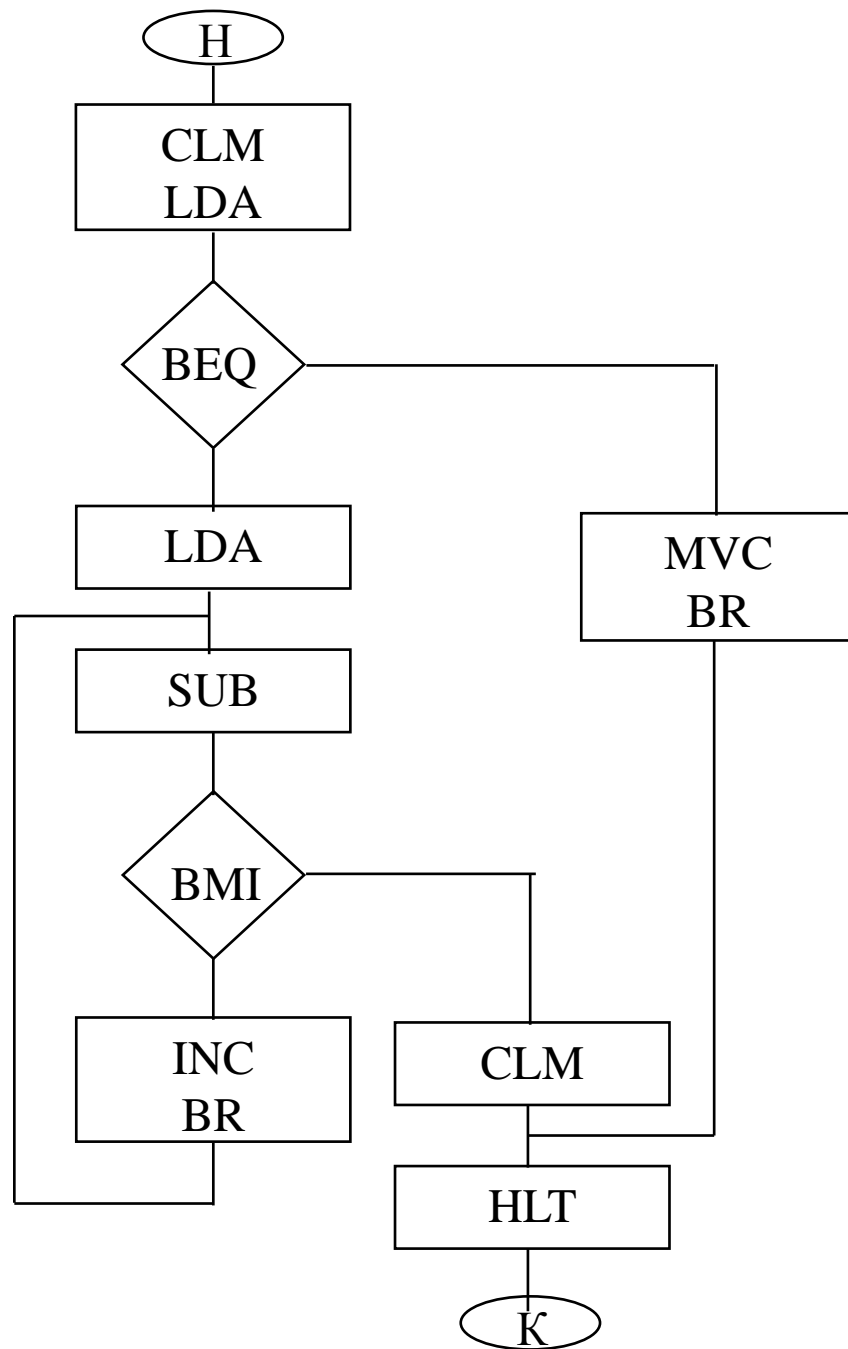
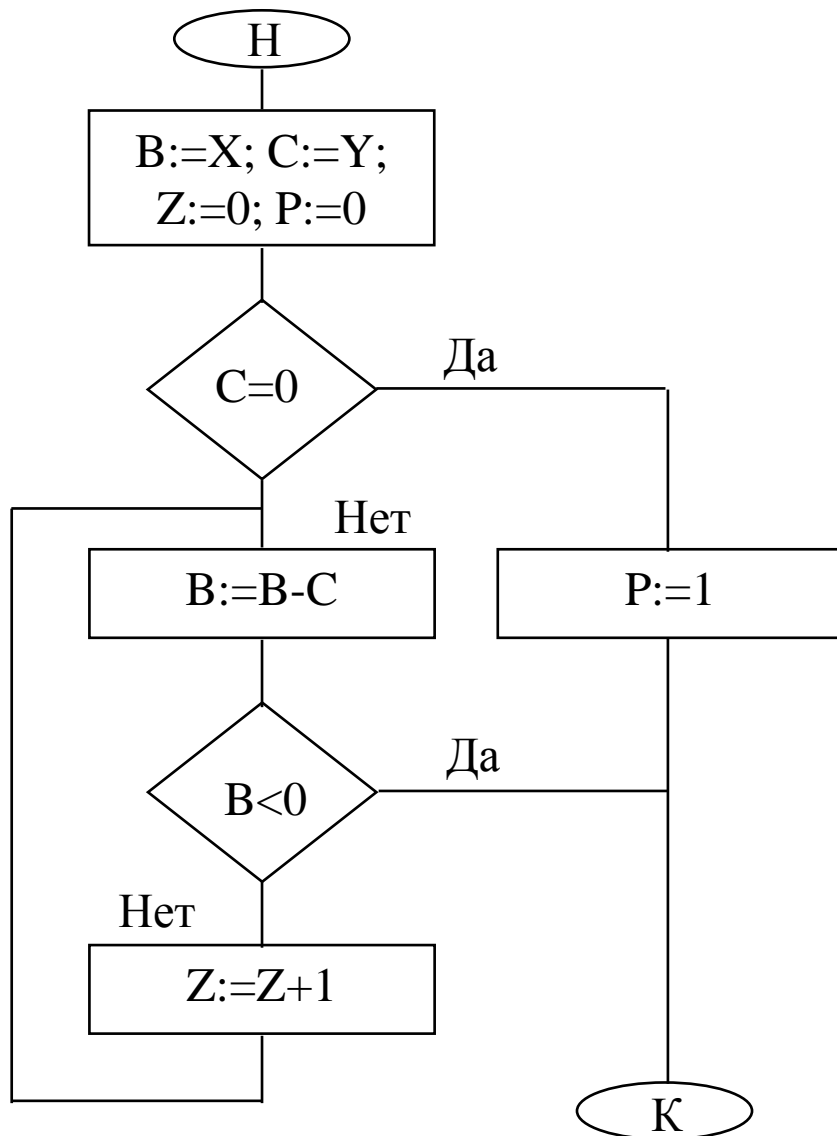
Наименование	Мнемоника	Описание	Признаки	
			PZ	PS
ВЫЧИТАНИЕ	SUB A	$AC := AC - M[A]$, $PC := PC + 1$	+	+
ОЧИСТКА	CLM A	$M[A] := 00...0$, $PC := PC + 1$	—	—
ЗАПИСЬ ЕДИНИЦ	MVC A	$M[A] := 11...1$, $PC := PC + 1$	—	—
ЗАПИСЬ AC	MOV A	$M[A] := AC$, $PC := PC + 1$	—	—
ИНКРЕМЕНТ	INC A	$M[A] := M[A] + 1$, $PC := PC + 1$	—	—
ЗАГРУЗКА AC	LDA A	$AC := M[A]$, $PC := PC + 1$	+	+
НЕТ ОПЕРАЦИИ	NOP	$PC := PC + 1$	—	—
ПЕРЕХОД	BR A	$PC := A$	—	—
ПЕРЕХОД, ЕСЛИ НУЛЬ	BEQ A	Если $PZ = 1$, то $PC := A$, иначе $PC := PC + 1$	—	—
ПЕРЕХОД, ЕСЛИ МИНУС	BMI A	Если $PS = 1$, то $PC := A$, иначе $PC := PC + 1$	—	—
ОСТАНОВ	HLT A	$PC := A$, останов	—	—

2.2 Алгоритм деления чисел нацело

$Z =]X/Y[$,
где X, Y, Z – целые
положительные числа в
диапазоне от 0 до 32767.



2.3 Граф-схема программы деления



2.4 Программа деления чисел нацело

	CLM AZ	Очистка ЯП для частного Z
	LDA AY	Загрузка в АС делителя Y
	BEQ m1	Если PZ=1 (Y=0), то переход на метку m1
	LDA AX	Загрузка в АС делимого X
m3	SUB AY	Вычитание из делимого X делителя Y
	BMI m2	Если PS=1, то переход на метку m2
	INC AZ	Увеличение на единицу частного Z
	BR m3	Переход на метку m3
m1	MVC AP	Запись единиц в ячейку признака
	BR m4	Переход на метку m4
m2	CLM AP	Очистка ЯП для признака P
m4	HLT SA	Загрузка РС и останов

2.5 Коды операций. Кодирование программы и распределение памяти программ и данных

Наименование	Мнемоника	Код операции
ВЫЧИТАНИЕ	SUB	00000001
ОЧИСТКА	CLM	00000010
ЗАПИСЬ ЕДИНИЦ	MVC	00000011
ЗАПИСЬ АС	MOV	00000100
ИНКРЕМЕНТ	INC	00000101
ЗАГРУЗКА АС	LDA	00000110
НЕТ ОПЕРАЦИИ	NOP	00000111
ПЕРЕХОД	BR	00001000
ПЕРЕХОД, ЕСЛИ НУЛЬ	BEQ	00001001
ПЕРЕХОД, ЕСЛИ МИНУС	BMI	00001010
ОСТАНОВ	HLT	00000000

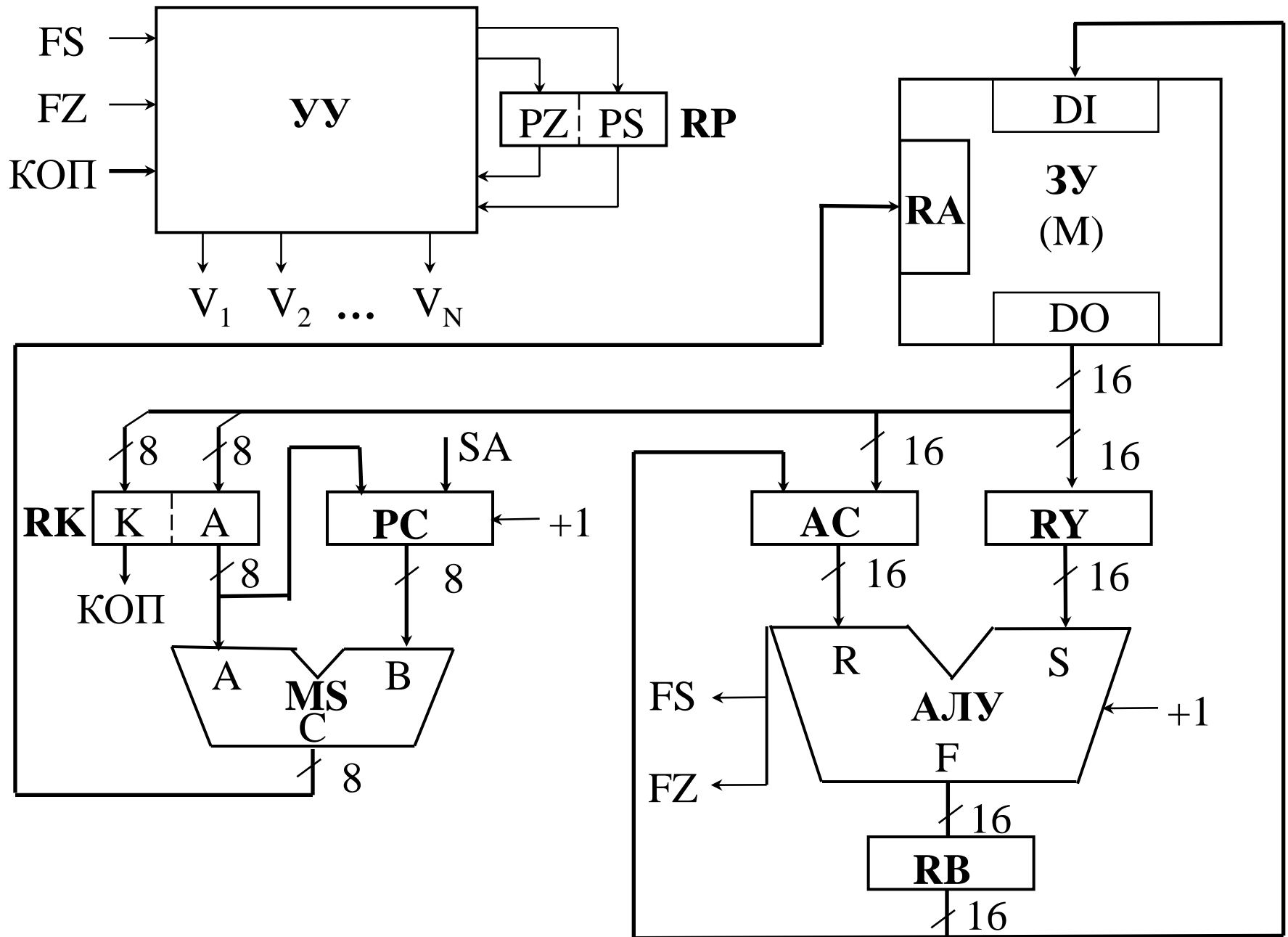
Адрес	Код	Мнемоника	Комментарий
00	0006	SA	Начальный адрес программы
01		X	Делимое
02		Y	Делитель
03		Z	Частное
04		P	Признак переполнения
05			Свободная ячейка памяти (ЯП)
06	0203	CLM AZ	Очистка ЯП для частного Z
07	0602	LDA AY	Загрузка в АС делителя Y
08	090E	BEQ m1	Если PZ=1 (Y=0), то переход на метку m1
09	0601	LDA AX	Загрузка в АС делимого X
0A	0102	SUB AY	Вычитание из АЗ делимого X делителя Y
0B	0A10	BMI m2	Если PS=1, то переход на метку m2
0C	0503	INC AZ	Увеличение на единицу частного Z
0D	080A	BR m3	Переход на метку m3
0E	0304	MVC AP	Запись единиц в ячейку признака
0F	0811	BR m4	Переход на метку m4
10	0204	CLM AP	Очистка ЯП для признака P
11	0006	HLT SA	Загрузка РС и останов

3 Разработка структуры и рабочего цикла ЭВМ

3.1 Структура

- ПР, кроме программно-доступных регистров АС, РС, РР, содержит программно недоступные регистры. Это, например, регистр команд (РК) и регистры операндов (RУ, RВ), используемые для временного хранения команд и операндов в процессе работы ПР.
- Связи между регистрами ЭВМ и схемы преобразования данных определяются требуемыми пересылками и преобразованиями данных и команд.
- Структурная схема ЭВМ приведена ниже, где FS, FZ – флаги соответственно "знака" и "нуля"; V1, V2, ..., VN – управляющие сигналы, вырабатываемые УУ при выполнении команды.
- Разряды PZ, PS регистра РР, устанавливаются после выполнения определенных команд, а состояния флагов FZ, FS изменяются после выполнения каждой МК в зависимости от результата операции в АЛУ.

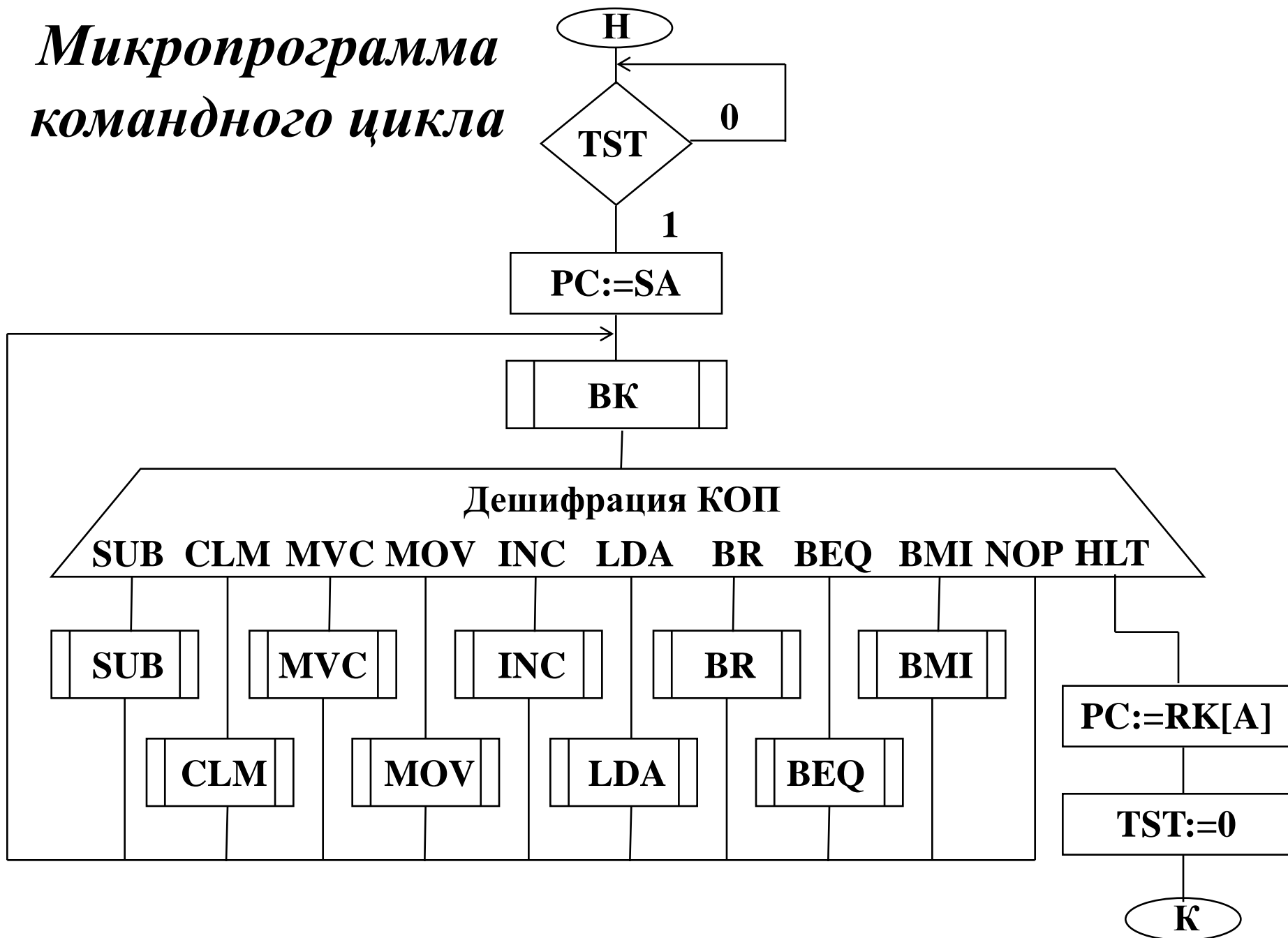
Структурная схема процессора



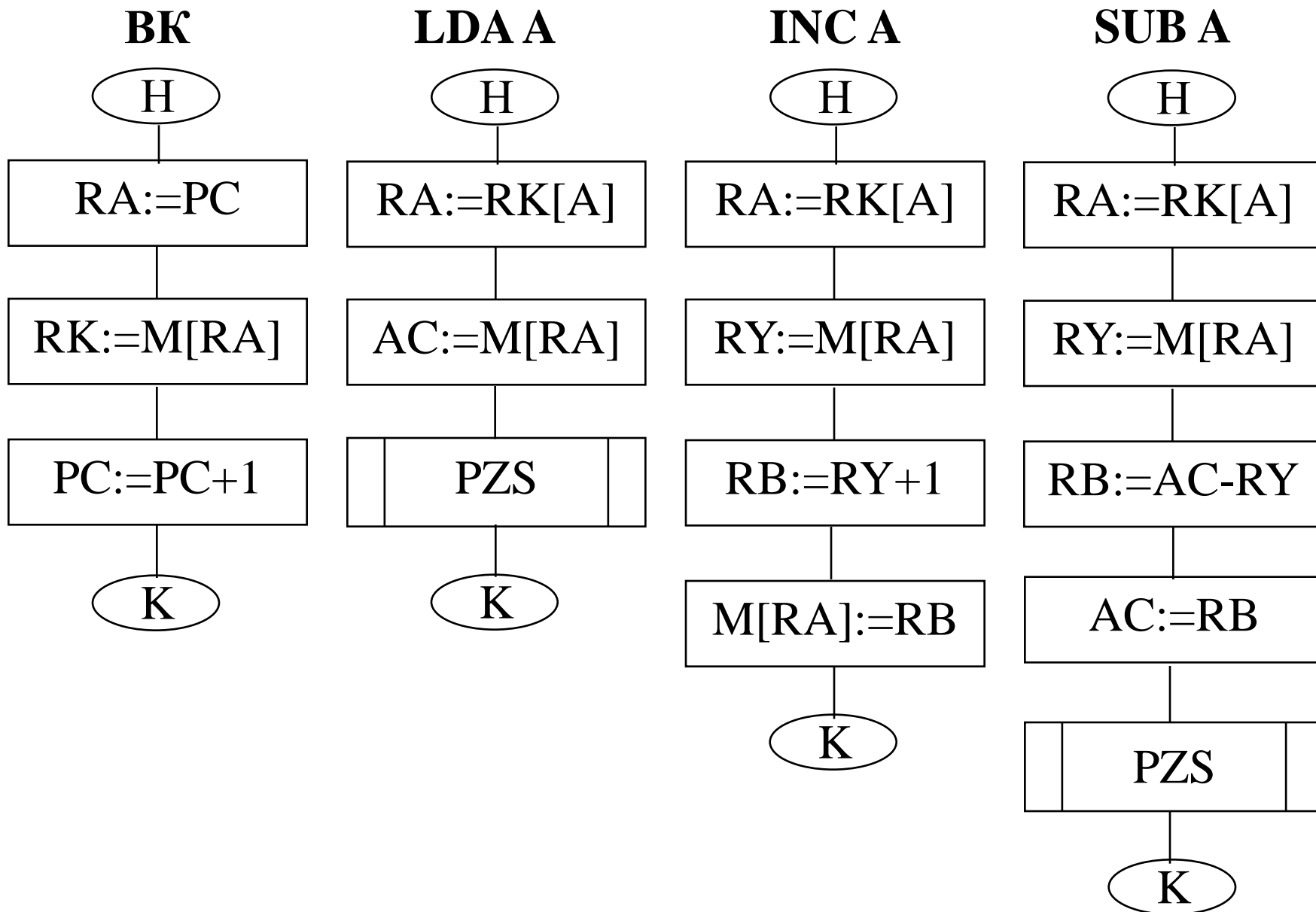
3.2 Рабочий цикл

- Алгоритм работы ЭВМ представлен на рисунке ниже в виде укрупненной граф-схемы микропрограммы командного цикла, содержащей подмикропрограмму выборки команды (ВК) и подмикропрограммы заданных операций.
- Подготовка к циклу включает состояние ожидания сигнала пуска (установки специального флага: $TST=1$) и загрузку начального адреса программы (SA) в программный счетчик. В рассматриваемом примере командный цикл включает три этапа: выборку команды, дешифрацию кода операции и выполнение заданной операции.
- Выход из командного цикла производится при выполнении команды HLT.
- Граф-схемы подмикропрограмм, выделенных в микропрограмме командного цикла, приведены на рисунках далее, где PZS - подмикропрограмма установки признаков PZ и PS в регистре признаков RP.

Микропрограмма командного цикла

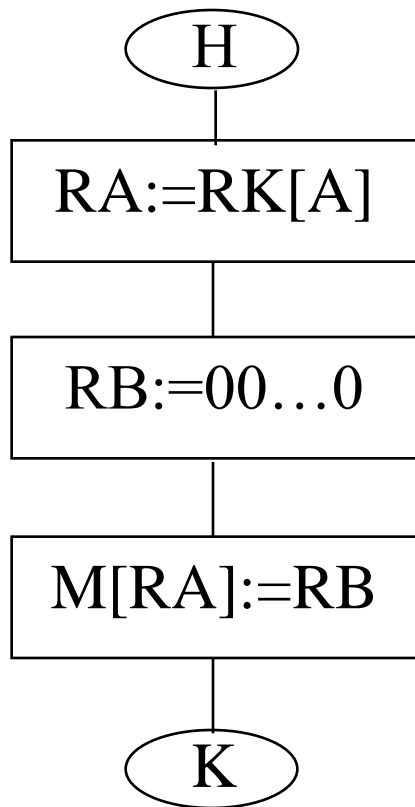


МП выборки команды и МП операций

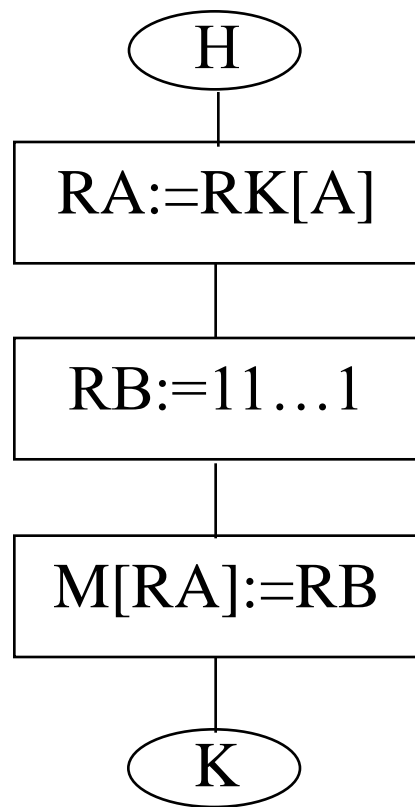


Микропрограммы операций

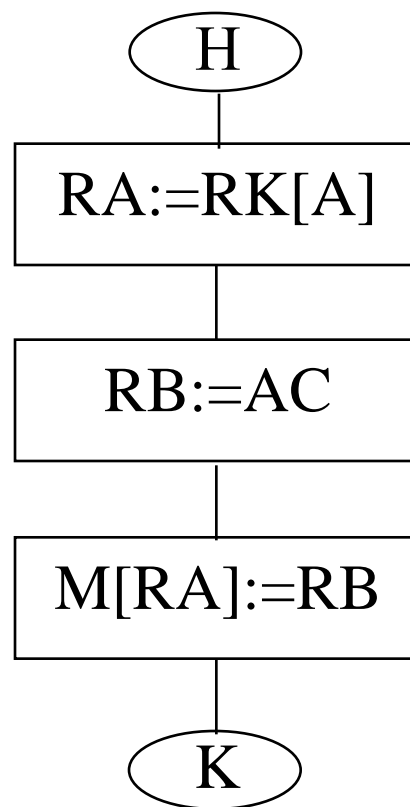
CLM A



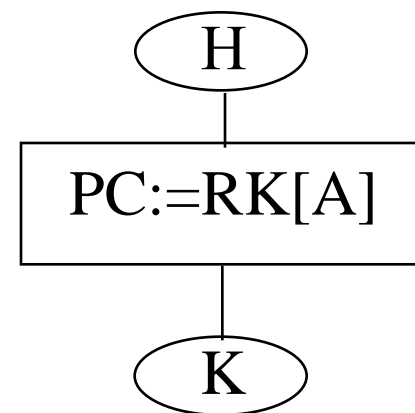
MVC A



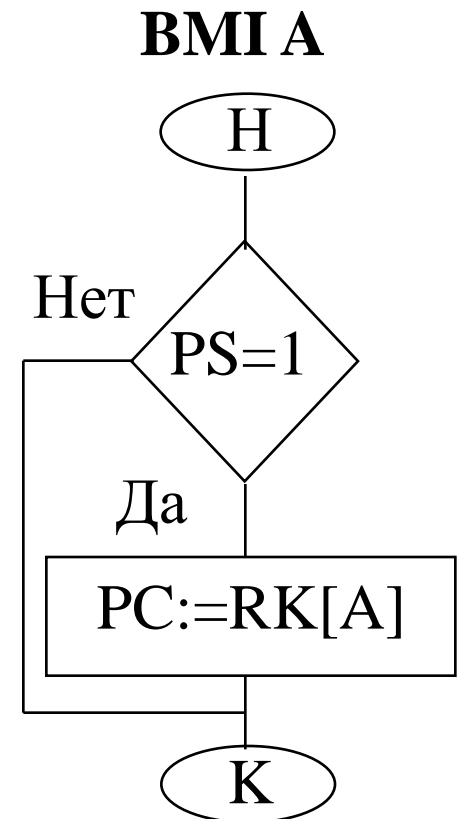
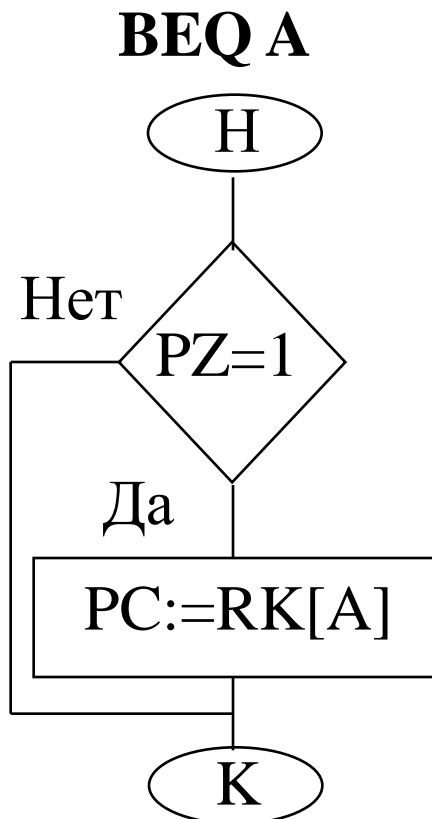
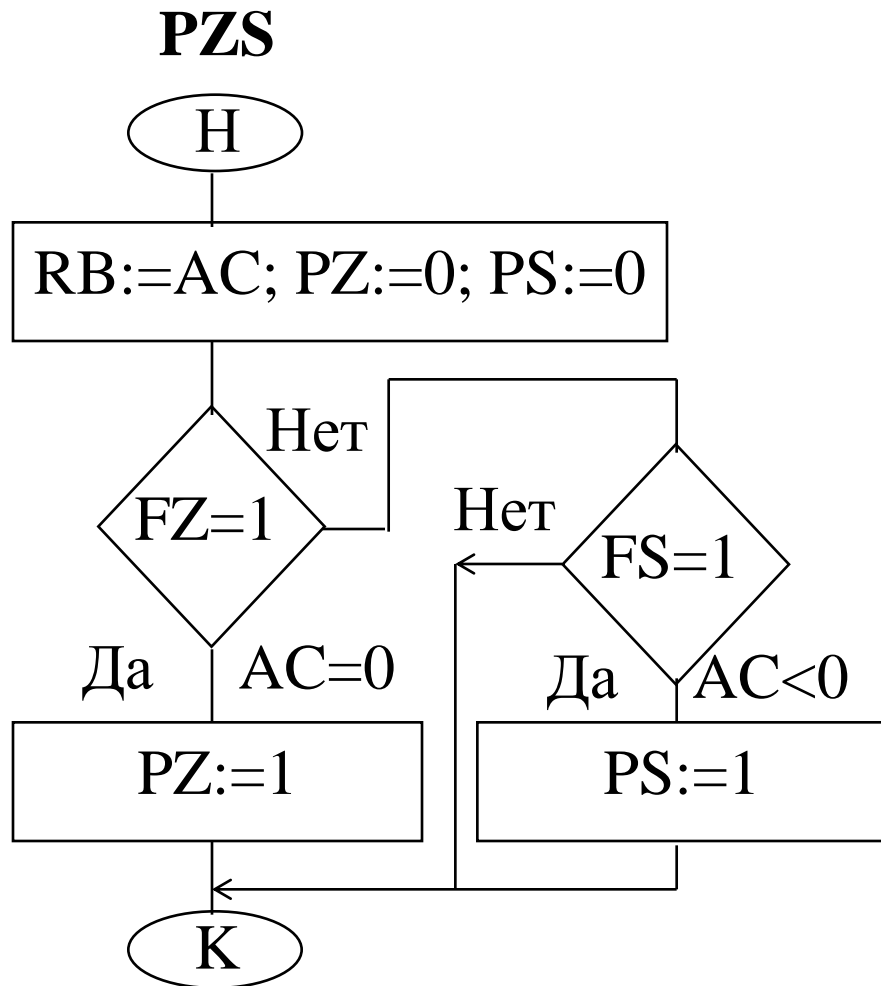
MOV A



BR A



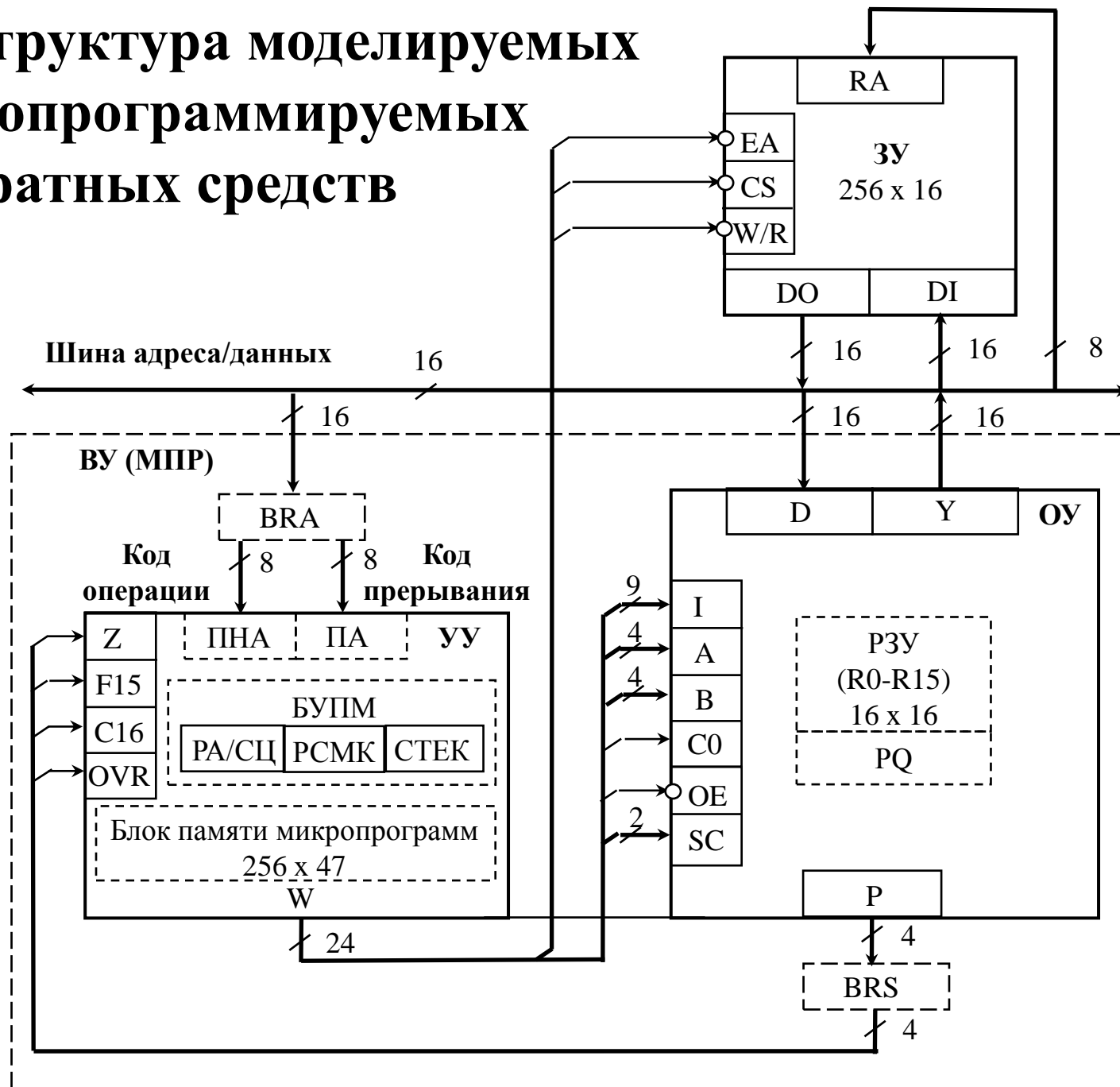
МП установки признаков и МП операций условных переходов



4 Микропрограммная реализация ЭВМ

- ЭВМ может быть реализована микропрограммно с использованием аппаратных средств микропрограммируемого микропроцессора. Структура необходимых аппаратных средств показана ниже на рисунке.
- Микропрограммная реализация ЭВМ включает:
 - распределение внутренних регистров микропроцессора,
 - разработку и кодирование подмикропрограмм командного цикла,
 - распределение памяти микропрограмм.

4.1 Структура моделируемых микропрограммируемых аппаратных средств



4.2 Распределение регистров

РЗУ (R0-R7)

0:	AC		
1:			
2:			
3:			
4:			
5:			
6:	PC		
7:	PS	RP	PZ

РЗУ (R8-R15)

8:	Регистр Z		
9:	Регистр P		
10:			
11:			
12:			
13:	Регистр для данных из ЗУ		
14:	Регистр константы		
15:	Счетчик адреса ЗУ RK[A]		

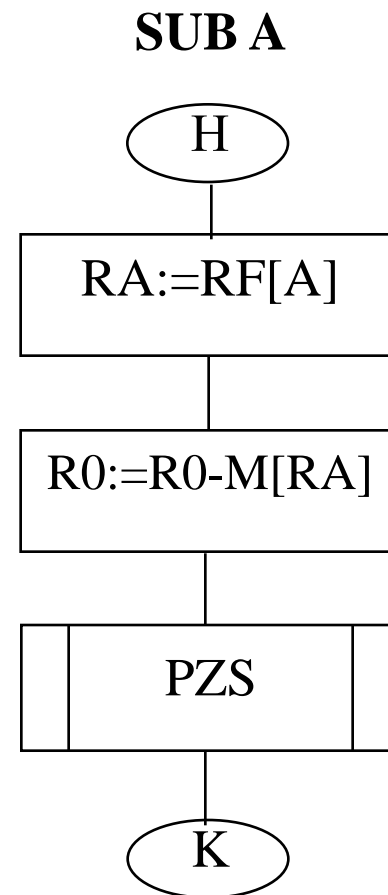
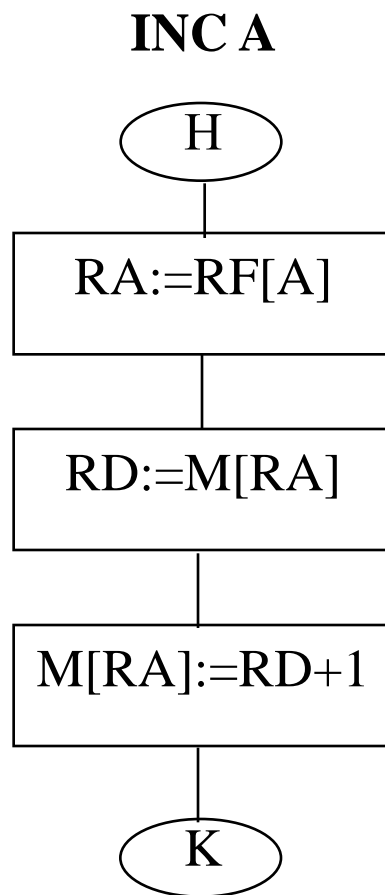
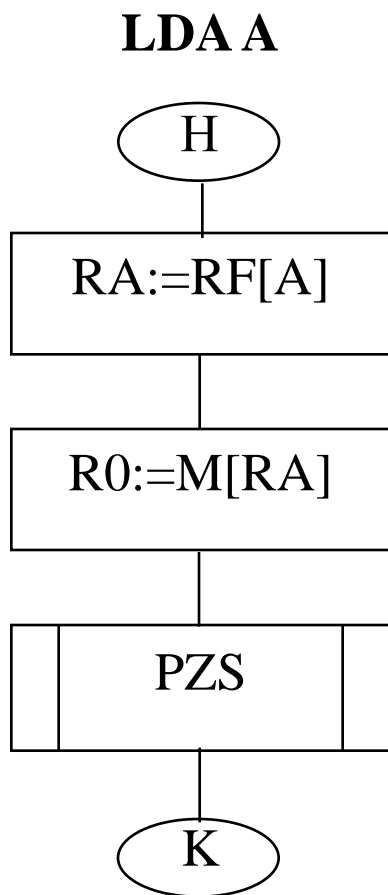
RA:

Адрес ЗУ

RQ:

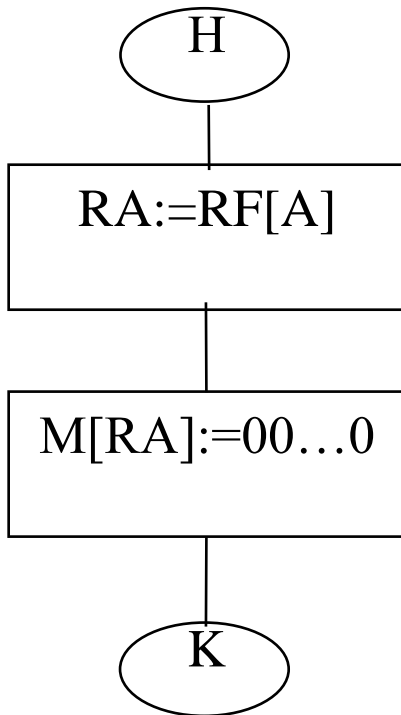
Регистр Y

4.3 Граф-схемы подмикропрограмм операций

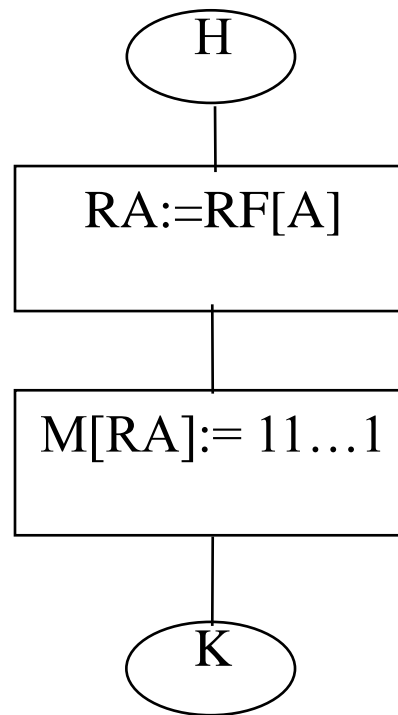


Граф-схемы подмикропрограмм операций (продолжение)

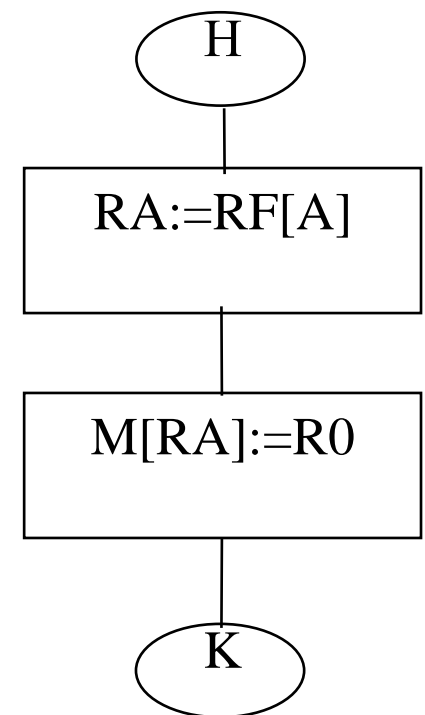
CLM A



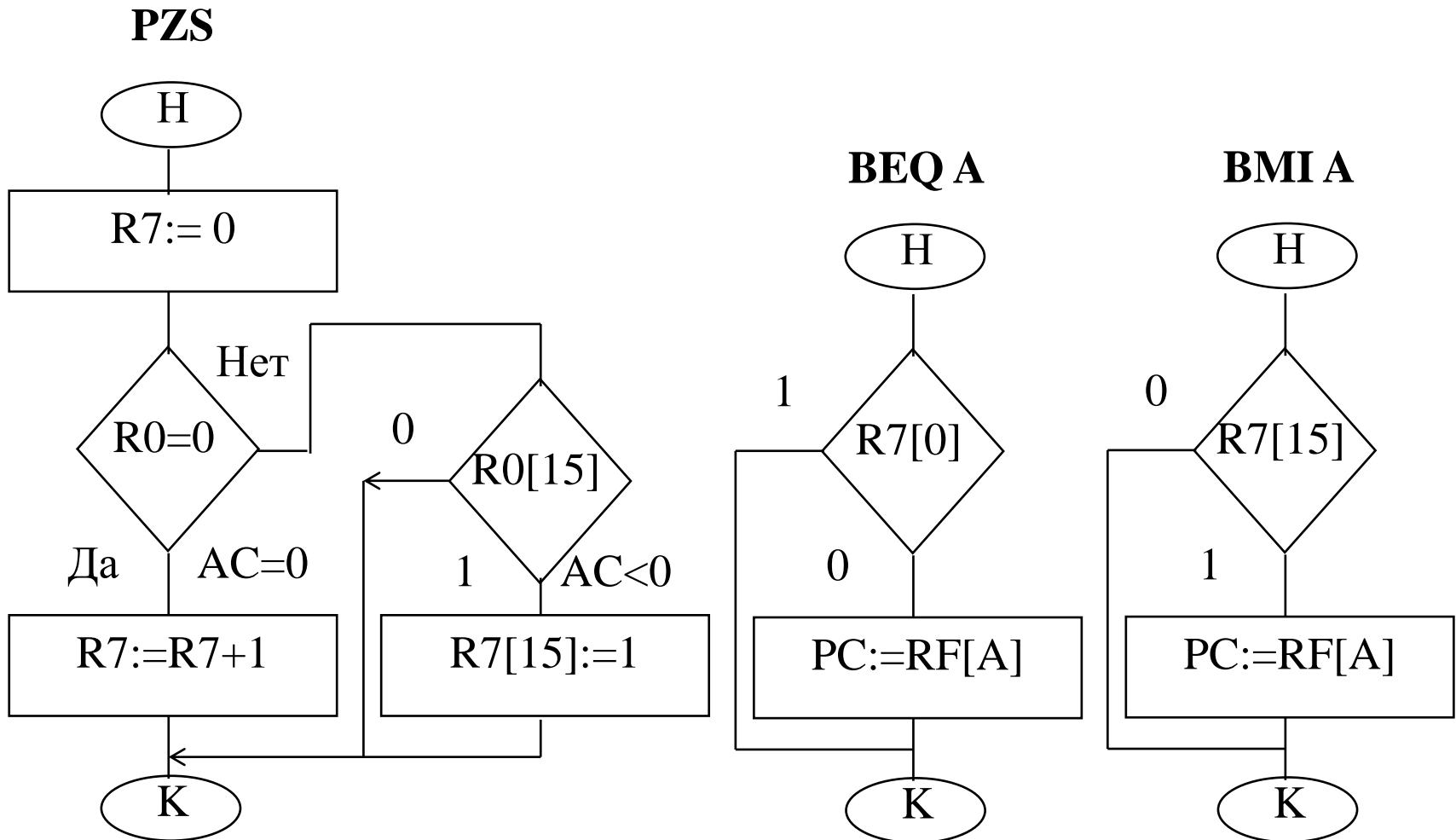
MVC A



MOV A



Граф-схемы подмикропрограмм операций (продолжение)



4.4 Дешифрация кода операции

Код операции преобразуется в начальный адрес подмикропрограммы соответствующей операции с помощью преобразователя начального адреса (ПНА).

Соответствие между кодами операций и начальными адресами подмикропрограмм приведены в таблице.

Мнемоника	Код операции	Адрес первой микрокоманды
SUB	00000001	00001110
CLM	00000010	00001100
MVC	00000011	00010000
MOV	00000100	00010010
INC	00000101	00010100
LDA	00000110	00010111
NOP	00000111	00011001
BR	00001000	00010011
BEQ	00001001	00011010
BMI	00001010	00011100
HLT	00000000	00011110

4.5 Кодирование микропрограммы командного цикла

№	МИ	РЗУ		Упр. АЛУ			Упр. ОЗУ			Шина	МИ	Упр. усл.			Упр. УУ		
МК	I8-0	A	B	C0	OE	SC	CS	W	EA	D11-0	I3-0	A	U	CCE	C0	RLD	OE
00	571	E	E	0	0	00	1	1	1	006	C	00	0	0	1	1	0
RE:=0111111111111111; PA/CI:=6																	
01	533	0	E	0	0	00	1	1	1	001	9	00	0	0	1	1	0
RE – сдвиг вправо; PA/CI:=PA/CI-1																	
02	143	0	6	0	0	00	1	1	0	000	E	00	0	0	1	1	0
RA:=0																	
03	337	0	6	0	1	00	0	1	1	000	E	00	0	0	1	1	0
R6:=SA (PC:=SA)																	
04	203	6	6	1	0	00	1	1	0	000	E	00	0	0	1	1	0
RA:=R6; R6:=R6+1 (RA:=PC; PC:=PC+1)																	
05	245	E	F	0	1	00	0	1	1	000	2	00	0	0	1	1	0
Переход по КОП, RF:=K[A] (RK[A]:=K[A])																	
06	343	0	7	0	1	00	1	1	1	000	E	00	0	0	1	1	0
R7:=0 (RP:=0) (PZS)																	
07	133	0	0	0	1	00	1	1	1	00A	3	00	1	0	1	1	0
Переход, если R0=0 (AC=0)																	
08	133	0	0	0	1	00	1	1	1	004	3	01	0	0	1	1	0
Переход, если R0[15]=0 (AC[15]=0)																	
09	503	0	7	1	1	01	1	1	1	004	3	00	0	1	1	1	0
R7:=R7+1; циклический сдвиг вправо (PS:=1)																	
0A	303	0	7	1	1	00	1	1	1	004	3	00	0	1	1	1	0
R7:=R7+1 (PZ:=1)																	

Кодирование микропрограммы командного цикла (выполнение операций)

№	МИ	РЗУ		Упр. АЛУ			Упр. ОЗУ			Шина	МИ	Упр. усл.			Упр. УУ		
МК	I8-0	A	B	C0	OE	SC	CS	W	EA	D11-0	I3-0	A	U	CCE	C0	RLD	OE
0C	133	0	F	0	0	00	1	1	0	000	E	00	0	0	1	1	0
RA:=RF[A] (CLM A)																	
0D	143	0	F	0	0	00	0	0	1	004	3	00	0	1	1	1	0
M[RA]:=0																	
0E	133	0	F	0	0	00	1	1	0	000	E	00	0	0	1	1	0
RA:=RF[A] (SUB A)																	
0F	315	0	0	1	1	00	0	1	1	006	3	00	0	1	1	1	0
R0:=R0-M[RA]																	
10	133	0	F	0	0	00	1	1	0	000	E	00	0	0	1	1	0
RA:=RF[A] (MVC A)																	
11	171	E	F	0	0	00	0	0	1	004	3	00	0	1	1	1	0
M[RA]:=1111111111111111																	
12	133	0	F	0	0	00	1	1	0	000	E	00	0	0	1	1	0
RA:=RF[A] (MOV A)																	
13	134	0	0	0	1	00	0	0	1	004	3	00	0	1	1	1	0
M[RA]:=R0																	

5 Ввод программы и данных

Имитатор микропрограммируемого микропроцессора - C:\Documents and Settings\Admin.MI...

Файл Редактирование Режим Выполнить Скорость ?

ОУ и УУ ОЗУ, ПНА и ПА 2/8/16сс

ОЗУ	Комментарии	ПНА	ПА
00: 0006	| SA.....	00: 1E	00: 00000000
01: 0007	| X.....	01: 0E	01: 00000000
02: 000F	| Y.....	02: 0C	02: 00000000
03: 0000	| Z.....	03: 10	03: 00000000
04: 0000	| P.....	04: 12	04: 00000000
05: 0000	| .....	05: 14	05: 00000000
06: 0203	| Z:=0.....	06: 17	06: 00000000
07: 0602	| AC:=Y.....	07: 19	07: 00000000
08: 090E	| Y=0 - ?.....	08: 1B	08: 00000000
09: 0601	| AC:=X.....	09: 1A	09: 00000000
0A: 0102	| AC:=AC-Y.....	0A: 1C	0A: 00000000
0B: 0A10	| AC<0 - ?.....	0B: 00	0B: 00000000
0C: 0503	| Z:=Z+1.....	0C: 00	0C: 00000000
0D: 080A	| Переход на 0A.....	0D: 00	0D: 00000000
0E: 0304	| P:=111...11.....	0E: 00	0E: 00000000
0F: 0811	| Переход на 11.....	0F: 00	0F: 00000000
10: 0204	| P:=000...00.....	10: 00	10: 00000000
11: 0006	| Останов.....	11: 00	11: 00000000
12: 0000	| .....	12: 00	12: 00000000
13: 0000	| .....	13: 00	13: 00000000
14: 0000	| .....	14: 00	14: 00000000
15: 0000	| .....	15: 00	15: 00000000

Ввод микропрограмм

Имитатор микропрограммируемого микропроцессора - C:\Documents and Settings\Admin.MI...

Файл Редактирование Режим Выполнить Скорость ?

ОУ и УУ ОЗУ, ПНА и ПА

2/8/16cc

№	МИ	РЗУ	Упр. АЛУ	Упр. ОЗУ	Шина	МИ	Упр. усл.	Упр. УУ									
МК	I8-0	A	B	CO	^OE	SC	^CS	^W	^EA	D11-0	I3-0	A	U	^CCE	CO	^RLD	^OE
01:	533	0	E	0	0	00	1	1	1	001	9	00	0	0	1	1	0
02:	143	0	6	0	0	00	1	1	0	000	E	00	0	0	1	1	0
03:	337	0	6	0	1	00	0	1	1	000	E	00	0	0	1	1	0
04:	203	6	6	1	0	00	1	1	0	000	E	00	0	0	1	1	0
05:	245	E	F	0	1	00	0	1	1	000	2	00	0	0	1	1	0
06:	343	0	7	0	1	00	1	1	1	000	E	00	0	0	1	1	0
07:	133	0	0	0	1	00	1	1	1	00A	3	00	1	0	1	1	0
08:	133	0	0	0	1	00	1	1	1	004	3	01	0	0	1	1	0
09:	503	0	7	1	1	01	1	1	1	004	3	00	0	1	1	1	0
0A:	303	0	7	1	1	00	1	1	1	004	3	00	0	1	1	1	0
0B:	...	.	.	.	.	..	.	.	.	...	.	..	.	.	.	.	.
0C:	133	0	F	0	0	00	1	1	0	000	E	00	0	0	1	1	0
0D:	143	0	F	0	0	00	0	0	1	004	3	00	0	1	1	1	0
0E:	133	0	F	0	0	00	1	1	0	000	E	00	0	0	1	1	0
0F:	315	0	0	1	1	00	0	1	1	006	3	00	0	1	1	1	0
10:	133	0	F	0	0	00	1	1	0	000	E	00	0	0	1	1	0
11:	171	E	E	0	0	00	0	0	1	004	3	00	0	1	1	1	0
12:	133	0	F	0	0	00	1	1	0	000	E	00	0	0	1	1	0

RE - сдвиг вправо; PA/CЦ:=PA/CЦ-1

Операция: R V S R=0 S=B Хранение МИ: RPCT Условие: ^Z

Сдвиги: РЗУ: >> PQ: x Загрузка: РЗУ: F/2->B PQ: нет Выход АЛУ (Y): F

Отладка микропрограмм

Имитатор микропрограммируемого микропроцессора - C:\Documents and Settings\Admin.MI...

Файл Редактирование Режим Выполнить Скорость ?

ОУ и УЧ ОЗУ, ПНА и ПА

2/8/16cc

№	МИ	РЗУ		Упр. АЛУ			Упр. ОЗУ			Шина	МИ	Упр. усл.		Упр. УЧ			
МК	I8-0	A	B	CO	^OE	SC	^CS	^W	^EA	D11-0	I3-0	A	U	^CCE	CO	^RLD	^OE
01:	533	0	E	0	0	00	1	1	1	001	9	00	0	0	1	1	0

RE - сдвиг вправо; PA/ЦЦ:=PA/ЦЦ-1

Операция: R V S R=0 S=B Хранение МИ: RPCT Условие: ^Z

Сдвиги: РЗУ: >> PQ: x Загрузка: РЗУ: F/2->B PQ: нет Выход АЛУ (Y): F

№	МИ	РЗУ		Упр. АЛУ			Упр. ОЗУ			Шина	МИ	Упр. усл.		Упр. УЧ			
МК	I8-0	A	B	CO	^OE	SC	^CS	^W	^EA	D11-0	I3-0	A	U	^CCE	CO	^RLD	^OE
01:	533	0	E	0	0	00	1	1	1	001	9	00	0	0	1	1	0

До выполнения микрокоманды 01:

РЗУ (R0-R7):

```

: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
Y: 0000011111111111
Z 0 F15 0 OVR 0 C16 0
  
```

РЗУ (R8-R15):

```

: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
PQ: 0000000000000000
PR0 1 PR15 0 PQ0 0 PQ15 0
  
```

После выполнения микрокоманды 01:

РЗУ (R0-R7):

```

: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
Y: 0000011111111111
Z 0 F15 0 OVR 0 C16 0
  
```

РЗУ (R8-R15):

```

: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
: 0000000000000000
PQ: 0000000000000000
PR0 1 PR15 0 PQ0 0 PQ15 0
  
```

Шина Y: 000000000001 =>0: Стек

PCMК: 000000000010

PA/ЦЦ: 000000000001

^PE 0 ^ME 1 ^VE 1 ^FL 1

1: 000000000000

2: 000000000000

3: 000000000000

4: 000000000000

5: 000000000000