

**В.М.ЛОГИН
И.Н.ЦЫРЕЛЬЧУК**

**8-РАЗРЯДНЫЕ
МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ
СЕМЕЙСТВА MC68HC11
ФИРМЫ MOTOROLA**



СОДЕРЖАНИЕ

ЗАПУСК И НАЧАЛЬНАЯ НАСТРОЙКА СРЕДЫ	3
1 МЕТОДЫ АДРЕСАЦИИ. КОМАНДЫ ПЕРЕСЫЛКИ ДАННЫХ	8
1.1 Методы адресации	8
1.2 Команды пересылки данных	10
1.3 Контрольные вопросы	13
1.4 Задания	15
2 АРИФМЕТИЧЕСКИЕ КОМАНДЫ	16
2.1 Арифметические команды	16
2.2 Контрольные вопросы	21
2.3 Задания	21
3 ЛОГИЧЕСКИЕ КОМАНДЫ. КОМАНДЫ РАБОТЫ С БИТОВЫМИ ПОЛЯМИ. КОМАНДЫ СДВИГОВ	23
3.1 Логические команды	23
3.2 Команды работы с битовыми полями	24
3.3 Команды сдвигов	25
3.4 Контрольные вопросы	26
3.5 Задания	27
4 КОМАНДЫ ПЕРЕДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ. СПЕЦИАЛЬНЫЕ КОМАНДЫ	28
4.1 Команды передачи управления	28
4.2 Специальные команды	34
4.3 Контрольные вопросы	34
4.4 Задания	35
ЛИТЕРАТУРА	37
ПРИЛОЖЕНИЕ А	38
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	43

ЗАПУСК И НАЧАЛЬНАЯ НАСТРОЙКА СРЕДЫ

Для установки среды необходимо запустить установочный файл «thrsim11_5.30_max_setup.exe», согласиться в процессе установки с условиями лицензионного соглашения, выбрать путь, по которому будет установлена программа, после чего выбрать все компоненты для установки (рисунок 1). После чего необходимо дождаться окончания процесса установки.

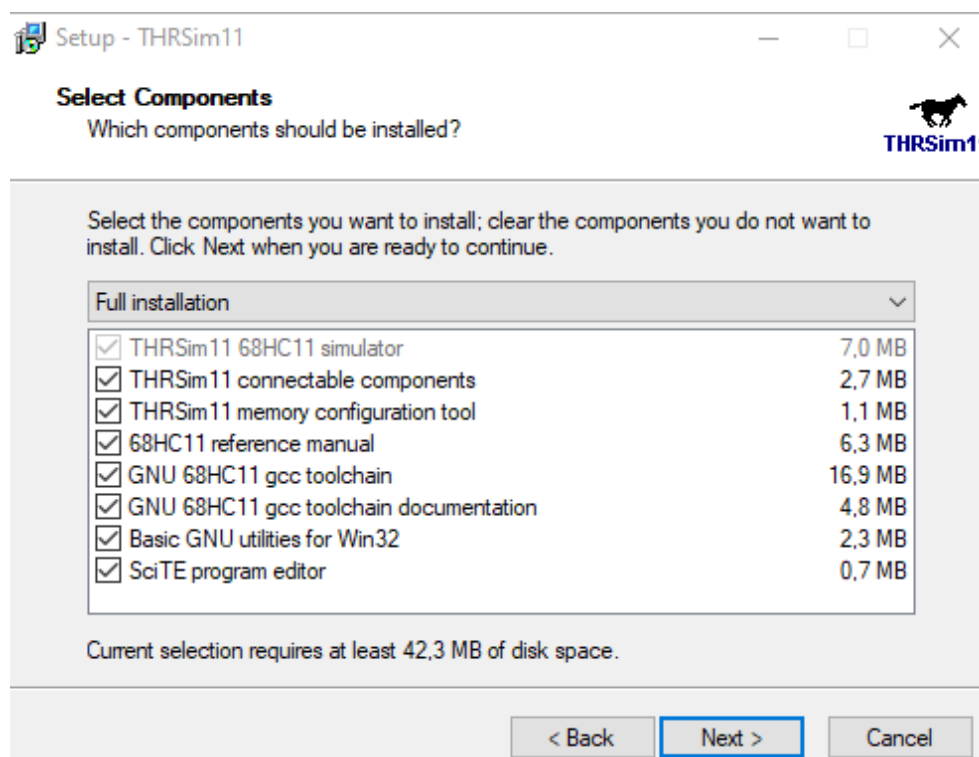


Рисунок 1

После запуска установленной программы необходимо осуществить её начальную настройку. Для этого необходимо зайти в пункт меню «View → Memory → Memory Configuration...» (рисунок 2).

В окне «Memory Configuration» необходимо дополнительно активировать пункты RAM2 enabled, ROM1 enabled, ROM2 enabled, ROM3 enabled, а также исправить значения Start и End в соответствующих полях (рисунок 3):

RAM0Start: \$0000	RAM0End: \$00FF
RAM1Start: \$B600	RAM1End: \$B7FF
RAM2Start: \$0000	RAM2End: \$FFFF
ROM0Start: \$C000	ROM0End: \$FFFF
ROM1Start: \$0000	ROM1End: \$FFFF
ROM2Start: \$0000	ROM2End: \$FFFF
ROM3Start: \$0000	ROM3End: \$FFFF

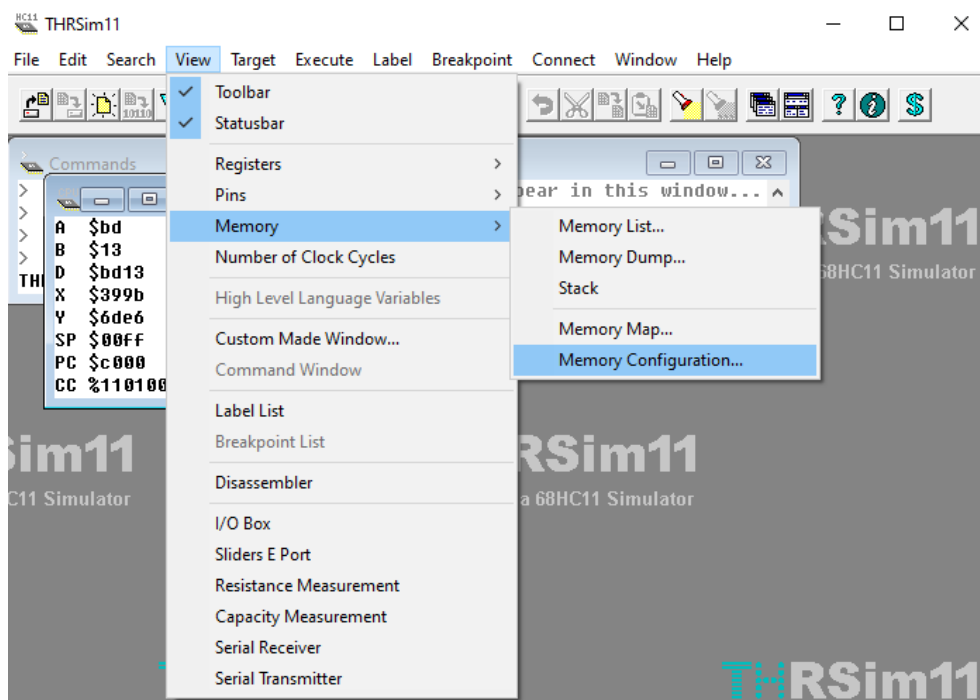


Рисунок 2

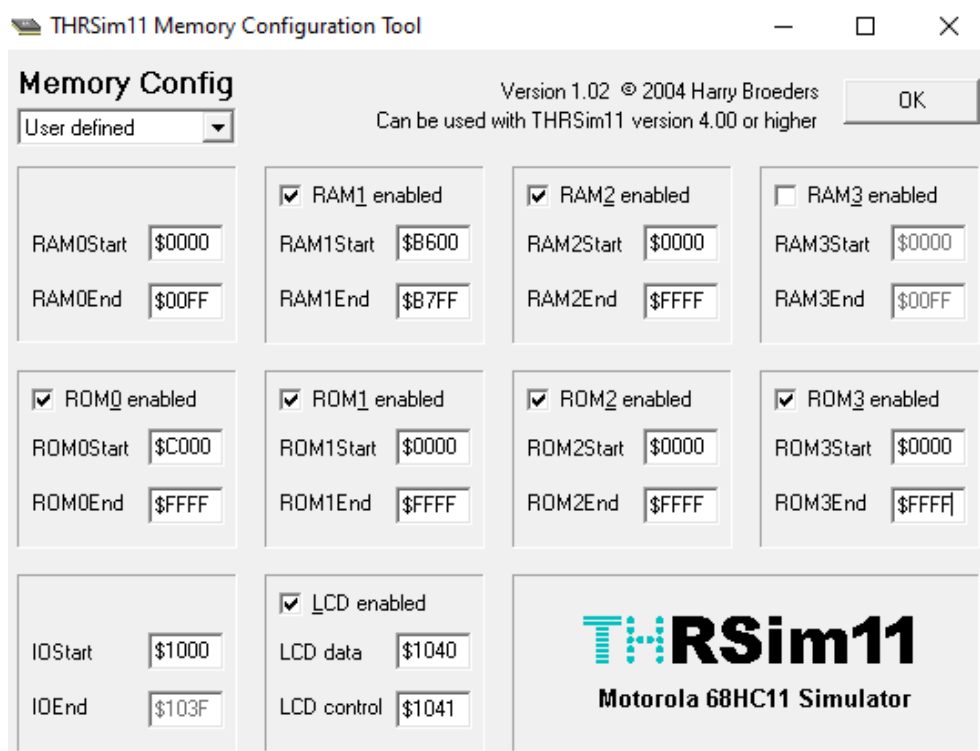


Рисунок 3

Для создания нового проекта необходимо перейти в пункт «File → New», и после этого сохранить файл формата «.asm» в удобную директорию командой «File → Save as... » (Рисунок 4).

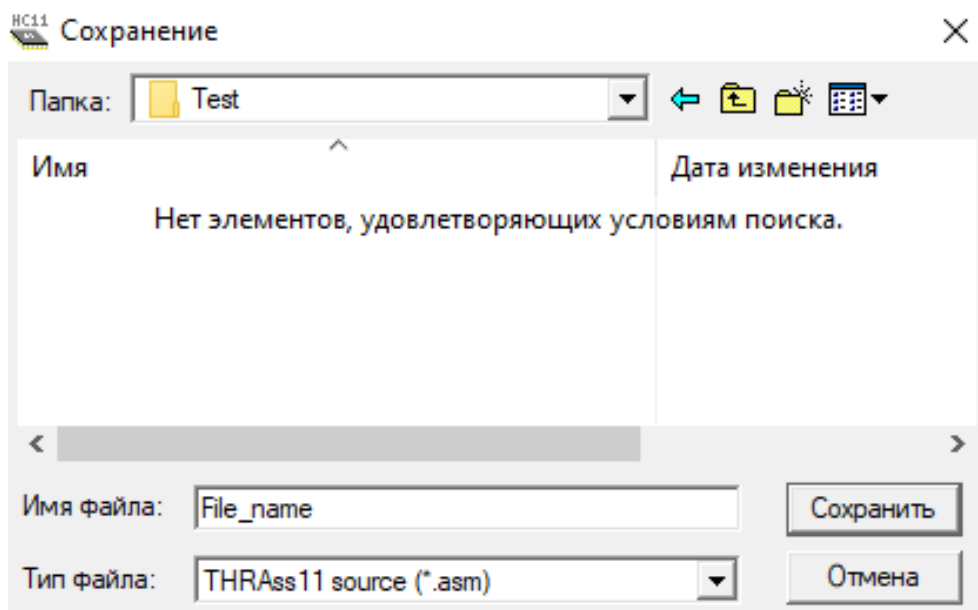


Рисунок 4

Появится рабочая область созданного файла, в которой необходимо написать код. После написания кода необходимо откомпилировать. Выполнить данное действие можно путем нажатия комбинации «ctrl+a» или кнопкой «Assemble» (рисунок 5).

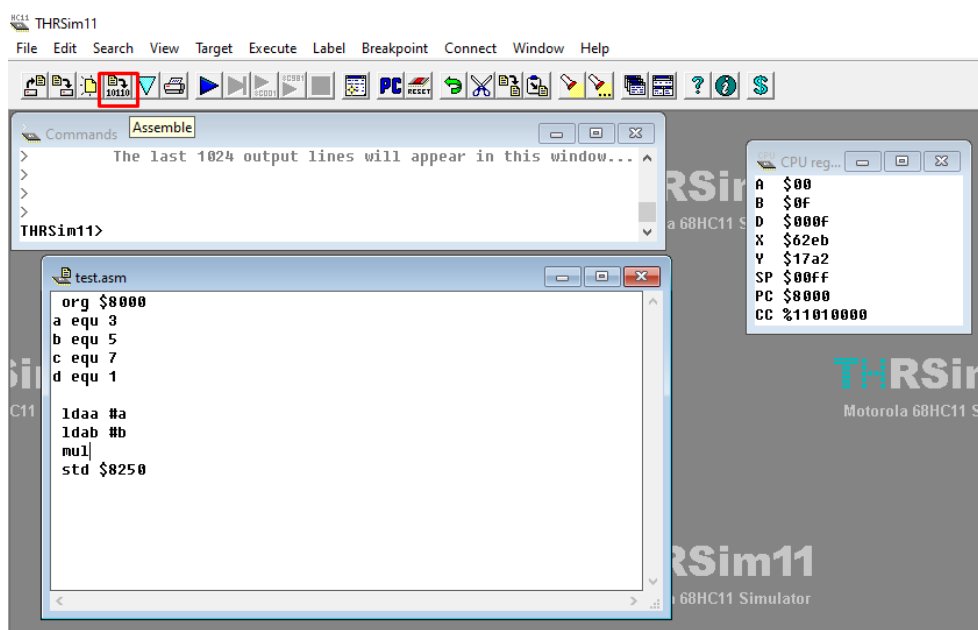


Рисунок 5

Для последующего строчного выполнения программы необходимо нажимать кнопку «Step» (рисунок 6).

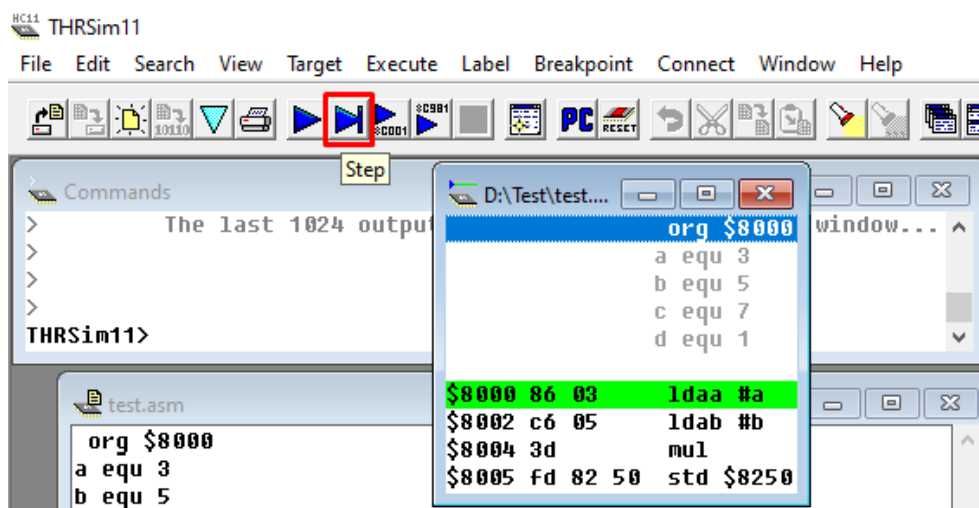


Рисунок 6

Для просмотра значений регистров предназначено окно «CPU registers». Для просмотра значения в отличном от 16-ричного формате можно нажать правой клавишей мыши на нужный регистр и выбрать необходимую систему счисления (рисунок 7).

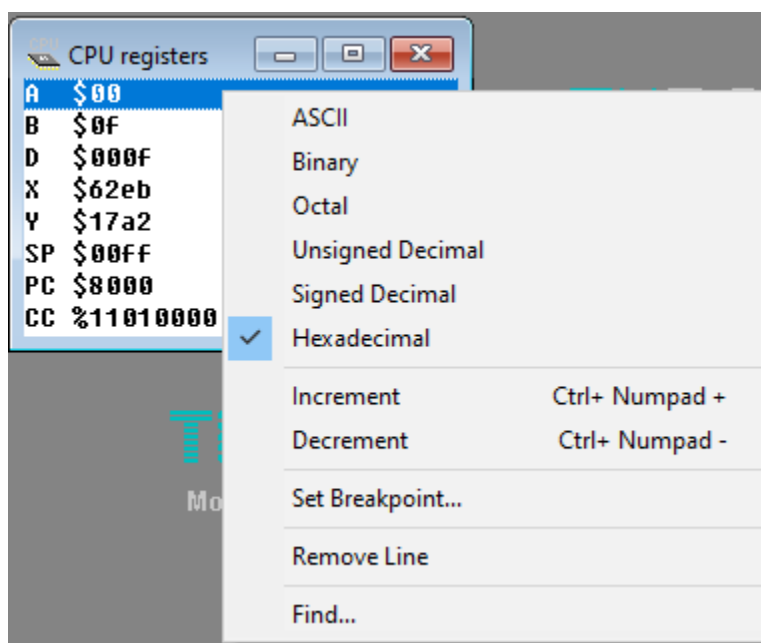


Рисунок 7

Для просмотра значений памяти необходимо выбрать пункт «View → Memory → Memory list», после чего ввести адрес начальной ячейки, например «\$8000», и нажать ОК (рисунок 8).

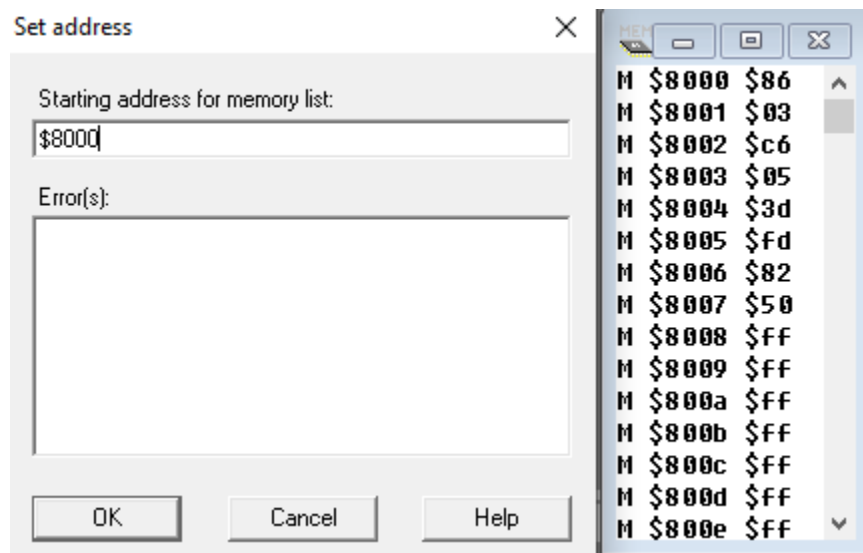


Рисунок 8

1 МЕТОДЫ АДРЕСАЦИИ. КОМАНДЫ ПЕРЕСЫЛКИ ДАННЫХ

1.1. Методы адресации

Микроконтроллеры семейства MC68HC11 выполняют обработку 8- и 16-разрядных операндов и реализуют набор из 108 команд. Они содержат два 8-разрядных аккумулятора A и B, которые при выполнении ряда команд используются как 16-разрядный регистр D, два 16-разрядных индексных регистра X и Y, регистр условий CCR, 16-разрядные регистр-указатель стека SP и программный счетчик PC.

Регистр CCR (табл. 1.1) содержит значения признаков переноса C, переполнения V, нулевого результата Z, знака N, запрещения прерывания I, переноса между тетрадами H.

Таблица 1.1

Формат содержимого регистра условий CCR

Биты	7	6	5	4	3	2	1	0
Признаки	S	X	H	I	N	Z	V	C

Микроконтроллеры семейства MC68HC11 имеют следующие типы адресации: неявная, непосредственная, прямая, расширенная, индексная и относительная.

Рассмотрим каждый из видов адресации подробнее.

Неявная адресация используется в том случае, когда в качестве операндов используются либо регистры (например, COMA, CLI), либо фиксированная ячейка памяти (SWI). Другими словами можно сказать, что неявная адресация не требует отдельного битового поля для указания операнда. В большинстве случаев такие команды однобайтные.

43 COMA
53 COMB

Исключение составляют команды, взаимодействующие с регистром Y:

18 35 TYS
18 3A ABY

В случае использования **непосредственной адресации** операнд (или один из операндов) включен непосредственно в код команды. Длина таких команд может составлять от 2 до 4 байтов. При записи команд, использующих непосредственную адресацию, операнд предваряется символом «решетка» ('#').

86	03			LDA	#3
CE	80	00		LDX	#32768
18	8C	56	78	CPY	#\$5678

Прямая адресация используется для доступа к данным, расположенным в первых 256 байтах памяти. При этом младший байт адреса операнда расположен непосредственно за кодом команды. Применение этой группы команд позволяет сократить объем программы, а также время выполнения на выборке операнда из памяти.

96	3F			LDA	
63	DA	FF		GRAB	\$FF

Использование **расширенной адресации** позволяет осуществить доступ к любой ячейке памяти в пределах адресного пространства контроллера. При этом 2 байта, следующие непосредственно за кодом команды, представляют собой абсолютный адрес операнда.

B6	40	00		LDA	\$4000
7E	78	12		JMP	\$7812

Как правило, ассемблер автоматически выбирает наиболее оптимальный из двух вышеописанных методов адресации.

Для доступа к массивам данных удобно использовать **индексную адресацию**. В микроконтроллерах семейства MC68HC11 используется так называемая **индексная адресация с 8-разрядным смещением**. При этом в индексный регистр X или Y заносится 16-разрядный адрес, а следующий за кодом команды байт содержит 8-разрядное смещение. Абсолютный адрес при этом вычисляется простым суммированием содержимого индексного регистра с байтом смещения.

A6	07			LDA	\$07,X
18	AD	00		JSR	0,Y

Команды работы со стеком также принято относить к командам с индексной адресацией.

32				PULA	
37				PSHB	

Эти команды используют **индексную адресацию без смещения**.

Относительная адресация используется в командах передачи управления. При этом абсолютный адрес перехода вычисляется путем сложения содержимого программного счетчика со смещением, представляющим собой 8-разрядное

знаковое число. Таким образом, используя относительную адресацию можно осуществить переход на адрес, лежащий в пределах от -128 до $+127$, относительно адреса следующего за командой перехода.

8D	00	BSR	*+\$2
24	FF	BCC	*-125

Заметим, что для наглядности здесь использован символ «звездочка» (*), который заменяется ассемблером на адрес текущей команды. Программы, использующие только относительную и неявную адресацию, принято называть *позиционно-независимыми программами*. Это объясняется тем, что при перемещении кода из одной области памяти в другую работоспособность программы сохраняется.

1.2. Команды пересылки данных

Простейшими командами являются команды пересылки данных. Список этих команд приведен в табл. 1.2. Рассмотрим каждую из команд подробнее на простых примерах.

Таблица 1.2

Команды пересылки данных

TSTA TSTB TST*	CLRA CLRB CLR*	TAB TBA TAP TPA TSX TXS TSY TYS	PSHA PULA PSHB PULB PSHX PULX PSHY PULY
LDAA** LDAB** LDD** LDX** LDY** LDS**	STAA*** STAB*** STD*** STX*** STY*** STS***	XGDX XGDY	

Примечания:

* — команды, использующие расширенную и индексную адресацию;

** — команды, использующие непосредственную, прямую, расширенную и индексную адресацию;

*** — команды, использующие прямую, расширенную и индексную адресацию.

TSTA, TSTB, TST (opr)

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	0	0

LDAA (opr), LDAB (opr),
LDD (opr), LDS (opr),
LDX (opr), LDY (opr)

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	0	-

Команды TSTA, TSTB и TST служат для установки регистра статуса в соответствии с содержимым регистра A, B или ячейки памяти соответственно. Далее результат может быть использован в командах условного перехода. Занесите в регистр A значение \$00 и выполните в пошаговом режиме команду TSTA. Теперь посмотрите на содержимое регистра статуса: должен быть установлен флаг нуля

и сброшены флаг отрицательного результата (M), переноса (C) и переполнения (V). Проведите подобный опыт при других значениях регистра A, обращая внимание на различное состояние регистра статуса.

Рассмотрим команды загрузки в регистр содержимого ячейки памяти:

```
org    $8000
ldab   $56      ; загрузить в регистр B содержимое ячейки $56,
                ; используя прямую адресацию
ldy    $c800    ; загрузить в регистр Y данные, расположенные по адресу
                ; $c800 (предыдущую команду)
ldx    #$1f00   ; установить регистр X
ldaa   $03,x    ; считать информацию
```

CLRA, CLRB, CLR (opr) Работа команд очистки регистров A и B и ячейки памяти может быть проиллюстрирована на примере следующей простой программы:

S	X	N	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	0	1	0	0

```
org    $8000
clrb   ; очистить регистр B
ldx    #$1f00 ; установить регистр X
clr    $04,x  ; очистить
```

STAA (opr), STAB (opr), STD (opr), STS (opr), STX (opr), STY (opr) Теперь рассмотрим работу команд модификации ячеек памяти. Для этого введем следующую программу:

S	X	N	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	0	-

```
org    $8000
ldd    #$AA55   ; установить в регистре D значение $AA55
ldx    #$1f00   ; установить регистр X
clr    $04,x    ; очистить
staa   $04,x    ; записать
stab   $04,x    ; записать
ldaa   $03,x    ; считать информацию
staa   $04,x    ; записать
```

В результате выполнения команды TAB значение аккумулятора A будет присвоено аккумулятору B. Команда TBA имеет противоположный эффект. Следует отметить, что регистр статуса принимает состояние, подобное выполнению команд STAA, STAB.

Команда TRA осуществляет перенос содержимого регистра CCR в аккумулятор A. Это удобно, если после выполнения какой-либо подпрограммы необходимо сохранить состояние регистра статуса (см. также TAP).

TAB, TBA

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	0	-

TPA, TSX, TSY, TXS,
TYS, XGDX, XGDY

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	-	-	-	-

Группа команд работы с регистром стека имеет одну особенность: при переносе числа из индексного регистра регистр стека получает на единицу меньшее значение, при обратной пересылке происходит увеличение индексного регистра. Рассмотрим эти команды подробнее:

org \$8000
ldx #220 ; занести в регистр X адрес \$220

xgdx ; обмен содержимого регистров X и D
clrb ; очистить младший байт регистра D
xgdx ; X = \$200
txs ; SP = \$1ff
tsy ; Y = \$200

Обмен содержимого индексного регистра и регистра D, как правило, используется при арифметических операциях (так как арифметические команды работы с регистром D более развиты) или в случае необходимости 8-разрядного доступа к содержимому индексного регистра, что может быть полезно, например, для организации кольцевого буфера.

TAP

S	X	H	I	N	Z	V	C
?	?	?	?	?	?	?	?

* - значение может быть изменено только из 1 в 0.

Команда TAP осуществляет перенос значения регистра A в соответствующие биты регистра статуса CCR. При этом содержимое регистра A остается неизменным. Флаг X, служащий для маскирования прерывания XIRQ, в результате выполнения этой команды может быть сброшен, но он не может быть установлен, если до выполнения команды флаг был сброшен.

org \$8000
ldaa #\$47 ; занести в регистр A новое содержимое регистра статуса
tap ; установить новое значение регистра статуса: заметьте, что флаг X не будет установлен

Команды работы со стеком, как правило, используются в подпрограммах для того, чтобы сохранить значение одного или более регистров.

Алгоритм работы команд PSH таков:

PSHA, PSHB, PSHX,
PSHY, PULA, PULB,
PULX, PULY

1) в ячейку памяти, на которую указывает регистр SP, записывается (младший) байт регистра-операнда;
2) значение регистра SP уменьшается на 1, указывая на следующую свободную ячейку в области стека;

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	-	-	-	-

байтом операнда.

еранда последовательность (1–2) повторяется со старшим

Команды группы PUL выполняют данную последовательность в обратном порядке, увеличивая значение регистра SP.

Следующая программа демонстрирует, каким образом можно сохранить неизменными все внутренние регистры ОЭВМ (рекомендуется также обратить внимание на содержимое стека):

```
org    $8000
psha           ; последовательно сохраняем регистры в стеке: A, B, X, Y, CCR
pshb
pshx
pshy
tpa
psha
ldaa    #$20 ; выполняем какие-либо действия, в результате которых изменяется
ldx     $12  ; содержимое регистров
ldy     $1f03
clrb
xgdy
pula           ; восстанавливаем регистры: CCR, Y, X, B, A
tap
puly
pulx
pulb
pula
```

1.3. Контрольные вопросы

1. Какие методы адресации вам известны? Дайте краткую характеристику каждого из них.

2. Какие методы адресации могут быть использованы в командах LDAA, STAA?

3. На какие флаги влияет выполнение команды TSTA?

4. Как формируется абсолютный адрес перехода в командах, использующих индексную адресацию?

5. Укажите на неточности (если они есть) в написании команд:

```
ldaa    #20
staa     #$50
ldab     #$500
tax
xgdy
```

6. Какие из изученных в данном разделе команд влияют на содержимое регистра SP?

7. Что такое позиционно-независимая программа?

8. Какие методы адресации используют приведенные ниже команды:

ldaa #20

staa \$20

psha

coma

pulb

9. Каково значение регистров X и D в результате выполнения программы:

ldaa #30

ldx #\$4020

tab

psha

psha

xgdx

pulx

10. Какие особенности имеет команда TAP?

11. Какое применение находит команда XGDX?

12. Каково значение регистра SP в результате выполнения фрагмента программы:

ldx #\$200

txs

pshx

pula

13. Как формируется абсолютный адрес перехода в командах, использующих относительную адресацию?

14. Какая логическая ошибка допущена при написании данного фрагмента программы:

ldx #\$20

pula

ldaa 0,x

staa 5,x

ldaa 3,x

staa \$22

psha

15. Каково значение регистра Y в результате выполнения программы:

ldx #\$4644

stx \$20

ldaa #\$20

tab

std \$21

ldy \$20

1.4. Задания

1. Напишите программу, заполняющую ячейки \$8200...\$8205 значением \$55, используя индексную адресацию.
2. Перезаписать регистр А в регистр В таким образом, чтобы значение регистра флагов осталось неизменным.
3. Занести \$AA и \$55 в регистры А и В соответственно. Перенести значение этих регистров в регистр Х таким образом, чтобы в регистре Х оказалось значение \$55AA.
4. Заполнить 10 ячеек стека значением ячеек памяти, начиная с \$8000.
5. Произвести обмен регистров Х и Y тремя различными способами.
6. Занести в регистр Х число \$1F0. Используя только рассмотренные в этой лабораторной работе команды, уменьшить это число на 3.
7. Произвести обмен содержимого младшего байта регистра Х с регистром А.
8. Изменить порядок следования байтов в регистре Х, не используя команду XGDХ.
9. Занести значение регистра стека в регистр D.
10. Изменить порядок следования байтов в регистре Y, используя только неявную адресацию.
11. Сохранить текущее значение регистра стека в стеке.
12. Установить регистр флагов в соответствии с содержимым младшего байта регистра SP.
13. Переписать содержимое регистра А в регистры В, Х и Y.
14. Сохранить все регистры ОЭВМ в ячейках памяти \$8100 ... \$8108. При этом содержимое данных ячеек памяти должно соответствовать значению регистров при входе в программу.

В приложении А представлена система команд, а пример программы – в приложении Б.

Примечание. При написании программ в случае необходимости следует предварительно записать значения в ячейки памяти в соответствии с заданием.

2. АРИФМЕТИЧЕСКИЕ КОМАНДЫ

2.1. Арифметические команды

Список арифметических команд приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Арифметические команды

INCA	DECA	NEGA	CMPA*	SUBA*	ADDA*	ADCA*	DAA
INCB	DECB	NEGB	CMPB*	SUBB*	ADDB*	ADCB*	MUL
INC**	DEC**	NEG**	CPD*	SUBD*	ADDD*		
INX	DEX		CPX*	SBCA*	ABA		FDIV
INY	DEY		CPY*	SBCB*	ABX		
INS	DES		CBA	SBA	ABY		IDIV

Примечания:

* – команды, использующие непосредственную, прямую, расширенную и индексную адресацию;

** – команды, использующие расширенную и индексную адресацию.

INCA, INCB, INC (opr)
DECA, DECB, DEC (opr)

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	?	-

INS, DES

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	-	-	-	-

INX, INY, DEX, DEY

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	-	?	-	-

Приведем примеры использования этих команд в порядке увеличения сложности.

Команды инкремента и декремента являются простейшими арифметическими операциями и служат соответственно для увеличения и уменьшения на единицу значения регистра ОЭВМ или ячейки памяти.

В зависимости от типа операнда значение регистра статуса после выполнения команд может принимать различные значения. При работе с 8-разрядным операндом команды инкремента и декремента влияют на флаги отрицательного результата (N), нуля (Z) и переполнения (V). В случае если операндом является указатель стека, значение регистра статуса остается неизменным. При операциях с индексными регистрами команды инкремента и декремента влияют только на флаг нуля (Z).

Как правило, команды INC и DEC используются для организации циклов. Тот факт, что эти команды не изменяют флаг переноса, используется при арифметических операциях над многобайтными числами.

Следующий простой пример иллюстрирует работу этих команд:

```
org $8000
```


ldaa	#\$10	;	поместить в регистр A значение \$10
inca		;	увеличить на 1

tab	;	поместить в регистр В
decb	;	уменьшить В на 1
std \$10	;	сохранить регистры А и В в ячейках \$10 и \$11
ldx \$10	;	загрузить в регистр X
inx	;	инкрементировать регистр X
des	;	указателя стека

NEGA, NEGB,
NEG (opr)

Команда NEG замещает операнд его двоичным дополнением. Другими словами можно сказать, что результатом операции является изменение знака числа, представленного в дополнительном коде.

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	?	?

Продemonстрируем на примере эмуляцию команды INC через NEG и DEC:

```
org $8000
nega      ; изменить знак числа
deca      ; увеличить на 1
nega      ; изменить знак числа
```

CMPA (opr), CMPB (opr),
CPX (opr), CPY (opr),
CPD (opr), CBA

Команды сравнения используются при сравнении значения регистра со значением ячейки памяти или регистра. Фактически происходит операция вычитания ячейки памяти, указанной в качестве операнда, или регистра В (в случае команды CBA) из соответствующего регистра МК. Команды не оказывают влияния на операнды, изменяется лишь регистр статуса. В дальнейшем результат обычно используется командами перехода.

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	?	?

В дальнейшем результат обычно используется командами перехода.

```
org $8000
ldaa #$10      ; инициализация регистров А и В
ldab #$50
cba            ; сравнение регистров А и В
stab $01
cmpb $01      ; сравнение содержимого регистра В с ячейкой $01
```

ABA,
ADCA (opr), ADCB (opr),
ADDA (opr), ADDB (opr)

При выполнении команд сложения происходит суммирование содержимого регистра-приемника с непосредственно заданным значением, ячейкой памяти или другим регистром. В командах ADC к результату дополнительно прибавляется значение флага переноса. Результат сложения аккумуляторов командой ABA заносится в регистр А, результат сложения регистра В с индексным регистром – в соответствующий индексный регистр.

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	?	-	?	?	?	?

При выполнении команд вычитания происходит вычитание из регистра приемника второго операнда (в случае SBA происходит вычитание регистра В

ADDD (opr), SUBD (opr),
SBA,
SBCA (opr), SBCB (opr),
SUBA (opr), SUBB (opr)

ABX, ABY

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	-	-	-	-

из регистра A). Команды SBC дополнительно вычитают из регистра-приемника значение флага переноса.

Команды, учитывающие флаг переноса, как правило, используются при операциях над многобайтными числами. Ниже приводится пример сложения и вычитания двух 3-байтных чисел, расположенных в ячейках \$0 ... \$2 и \$3 ... \$5 соответственно.

```
org    $8000
ldx    #01
ldd     0,x      ; сложение младших 2-х байтов
add     3,x
std     0,x
dex           ; переход к 3-му байту
ldaa    0,x
adca    3,x      ; сложение с учетом переноса
staa    0,x      ; записываем результат
ldx     #$2
ldaa    0,x      ; вычитание с использованием SBA
ldab    3,x
sba
dex           ; переход к следующему байту
ldaa    0,x
sbca    3,x
staa    0,x
dex           ; переход к последнему байту
ldaa    0,x
sbca    3,x
staa    0,x      ; результат получен, записываем последний байт
```

Двоично-десятичная коррекция после сложения командами ABA, ADDA и ADCA обеспечивает суммирование двух чисел, представленных в двоичнодесятичном формате. При этом флаг переноса используется в качестве старшего бита, обеспечивая получение корректного двоично-десятичного значения.

DAA

Фактически команда DAA после команд сложения действует следующим образом:

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	?	?

* - значение не определено

1) если содержимое младшей тетрады аккумулятора больше 9 или флаг полупереноса H установлен в «1», то к аккумулятору добавляется число 6;

2) если содержимое старшей тетрады аккумулятора стало после этого более 9 или установлен флаг переноса, то число 6 добавляется и к старшей тетраде аккумулятора.

```
org    $8000
ldaa   #$99      ; 99 в двоично-десятичном коде
```

```
ldab  #$20
aba           ; результат равен B9
daa          ; коррекция до двоично-десятичного значения: C = 1, A = $19
tab
ldaa  #0      ; использование clra не допустимо, т.к. будет сброшен флаг
              ; переноса
adca  #0      ; D = $0119
```

MUL

Команда умножения производит беззнаковое умножение двух чисел, представленных в 8-разрядных аккумуляторах. Результат помещается в 16-разрядный аккумулятор D. Флаг переноса при

этом устанавливается таким образом, что при выполнении команды ADCA #0 происходит округление старшего байта.

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	-	-	-	?

```
org  $8000
ldaa #$10
ldab #$68
mul           ;    $10 * $68 = $0680
adca #0      ;    A = $7
```

IDIV

Команда IDIV производит целочисленное деление аккумулятора D на индексный регистр X. После выполнения в регистр X заносится частное, а в регистр D – остаток от деления. При выполнении команды IDIV делимое обычно больше делителя.

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	-	?	0	?

FDIV

Команда FDFV производит операцию дробного деления тех же аргументов. Фактически FDIV может быть представлен как умножение регистра D на 2^{16} с последующим выполнением команды IDIV, поэтому

при выполнении этой команды делитель обычно больше делимого. Эти две команды очень редко используются на практике.

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	-	?	?	?

```
org  $8000
ldd  #1020    ;    D = 1020 ($3fc)
ldx  #512     ;    X = 512 ($200)
idiv           ;    D = 1 ($1), X = 508 ($1fc)
fdiv          ;    D = 129 ($81), X = 4 ($4)
```

2.2. Контрольные вопросы

1. Какие команды сложения вы знаете?
2. Какие методы адресации используют команды ABA, ADDA, ABY?
3. Какие команды вычитания вам известны?
4. Каким образом используется бит переноса в операции вычитания?
5. Над какими операндами могут выполняться команды INC, DEC?
6. Объясните отличие в выполнении команд ADD и ADC.
7. Где располагаются результаты команды FDIV и что они собой представляют?
8. Что может служить операндом команды ADCA?
9. Какой флаг устанавливается, если результат операции сложения превышает \$FF?
10. Объясните, по какому принципу устанавливаются флаги переноса, нуля и переполнения в регистре статуса CCR при выполнении арифметических команд сложения и вычитания.
11. Объясните логику работы команд сложения/вычитания с учетом переноса/заёма при обработке многобайтовых чисел.
12. Объясните логику работы команды DAA.
13. Чем отличаются команды FDIV и IDIV?

2.3. Задания

1. Напишите программу, позволяющую вычислить адрес элемента, находящегося в двумерном массиве размерностью 3 x 3. Массив располагается по адресу \$8100. Индекс задается регистрами A и B, где A – номер строки, B – номер столбца массива.
2. Напишите программу суммирования регистров МК по следующей формуле: $D = A + B + lo(X) + hi(X) + lo(Y) + hi(Y)$, где lo и hi младший и старший байты соответствующих регистров.
3. Напишите программу вычитания содержимого регистров X и Y из регистра D, результат сохранить в регистре стека и уменьшить на 3.
4. Напишите программу сравнения значений ячеек памяти \$0 и \$1. Регистр A должен быть равен единице, если ячейки памяти равны.
5. Вычислите произведение двух ячеек памяти. Содержимое всех регистров должно остаться неизменным.
6. Напишите программу суммирования двух 16-разрядных чисел, используя

для сложения только команды `aba` и `adca(b)`, с учётом возможного переполнения.

7. Напишите программу, позволяющую вычислить адрес элемента, находящегося в двумерном массиве размерностью 3 x 3. Массив располагается по адресу \$8100-\$8109. Индекс задается регистрами A и B, где A – номер строки, B – номер столбца массива.

8. Вычислите произведение содержимого ячеек памяти \$8100-8102.

9. Просуммируйте содержимое ячеек памяти от \$8000 до \$8008. Содержимое всех регистров должно остаться неизменным.

10. Вычислите разность содержимого регистров X и Y.

11. Вычислите произведение регистров X и Y.

12. Просуммируйте содержимое ячеек памяти от \$8000 до \$8004 результат уменьшить на 7 используя команды рассмотренные в 1 лабораторной работе результат сохранить в стеке.

13. Вычислите частное от деления содержимого индексного регистра X на содержимое индексного регистра Y. При этом все остальные регистры необходимо сохранить в начальных условиях.

14. Напишите программу сравнения 16-разрядных чисел, расположенных в ячейках памяти \$0 и \$2. Регистр A должен быть равен нулю, если ячейки памяти не равны.

3. ЛОГИЧЕСКИЕ КОМАНДЫ. КОМАНДЫ РАБОТЫ С БИТОВЫМИ ПОЛЯМИ. КОМАНДЫ СДВИГОВ

3.1. Логические команды

Логические команды включают в себя действия булевой алгебры над аккумулятором или в случае команды COM над ячейкой памяти, заданной при помощи расширенной или индексной адресации. Команды BITA и BITB по принципу работы схожи с командами ANDA и ANDB, но не изменяют содержимого аккумулятора (сравните CMPA и SUBA). Команды приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Логические команды

COMA COMB COM	ANDA ANDB	BITA BITB	ORAA ORAB	EORA EORB
---------------------	--------------	--------------	--------------	--------------

COMA, COMB,
COM (opr)

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	0	1

ANDA (opr), ANDB (opr),
BITA (opr), BITB (opr),
ORAA (opr), ORAB (opr),
EORA (opr), EORB (opr)

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	0	-

Обычно логические команды используются для выборочной установки, обнуления, дополнения и тестирования бит, что часто используется при работе с периферийными устройствами. Следующий пример показывает, каким образом можно перенести содержимое старшего и младшего бит порта C в старший и младший биты порта B. При этом младший бит порта C переносится с инверсией. (Программа написана таким образом, чтобы задействовать максимальное число логических команд, но не оптимизирована на скорость выполнения.)

```
org    $8000
ldaa   $1f03      ; считать состояние порта C
ldab   $1f04      ; считать состояние порта B
andb   #%01111110 ; выделить неизменяемую часть
oraa   #%01111110 ; установить все неиспользуемые биты в «1»
coma   ; инвертировать значение аккумулятора
eora   #%10000000 ; инвертировать значение старшего бита
aba    ; совместить результат (заметьте, что мы
; заблаговременно маскировали неиспользуемые
; биты, чтобы сейчас совместить два числа простым
; суммированием)
staa   $1f04      ; вывести результат
```

3.2. Команды работы с битовыми полями

Команды работы с битовыми полями позволяют изменять указанные биты приемника (ячейки памяти или регистра статуса CCR), оставляя незадействованные биты нетронутыми. Список команд приведен в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Команды работы с битовыми полями

SEC	SEI	SEV	BSET*
CLC	CLI	CLV	BCLR*

Примечание.

* – команды, использующие прямую или индексную адресацию в качестве первого параметра и непосредственную – в качестве второго.

Команды, представленные в первых трех столбцах таблицы, устанавливают (SE?) или сбрасывают (CL?) отдельные флаги в регистре статуса, на которые указывает третья буква в мнемонике команды (С – флаг переноса, I – маскирование прерываний, V – флаг переполнения).

Приведем простой пример, показывающий один из способов занесения числа 1 в аккумулятор:

```
org   $8000
clra           ; очистить аккумулятор
sec           ; установить флаг переноса
adca #0        ; прибавить его к аккумулятору
```

В реализации отладчика имеется одна особенность – если трассируемая команда запрещает прерывания, то выполнение программы будет продолжаться до тех пор, пока либо прерывания не будут разрешены, либо не произойдет прерывания по неправильному коду команды. В частности это относится к командам SEI и SWI (эта команда будет рассмотрена в следующей главе). Также следует отметить, что если выполнение программы затянется, то отладчик выдаст сообщение об истечении времени ожидания ответа.

Почти в каждой программе требуется возможность манипуляции отдельными битами ячейки памяти. Так, блок регистров представляет собой по большей части битовые поля.

BCLR (opr), BSET (opr)

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	0	-

Команды BCLR и BSET в качестве первого операнда получают ячейку памяти, в которой соответственно сбрасываются или устанавливаются биты, указанные в маске, заданной непосредственно вторым параметром.

Приведем пример, демонстрирующий работу этих команд:

```
org $8000
ldx  #$1f00      ; настроить регистр X
```


bset 4,x,#\$AA ; установить в «1» через один бит, оставив
; незадействованные биты в прежнем состоянии
bclr 4,x,#\$55 ; установить в «0» остальные биты

3.3. Команды сдвигов

Список команд сдвигов представлен в табл. 3.3. Эти команды позволяют адресоваться к аккумулятору или ячейке памяти.

Команды сдвигов обычно подразделяют на три группы:

- арифметические сдвиги;
- логические сдвиги;
- циклические сдвиги.

Таблица 3.3

Команды сдвигов

ASLA/ LSLA ASLB/ LSLB ASLD/ LSLD ASL*/ LSL*	ASRA ASRB ASR*	LSRA LSRB LSRD LSR*	ROLA ROLB ROL*	RORA RORB ROR*
--	----------------------	------------------------------	----------------------	----------------------

Примечание.

* – команды, использующие расширенную или индексную адресацию.

ASLA, ASLB, ASL (opr),
ASLD, ASRA, ASRB,
ASR (opr)

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	?	?

При арифметическом сдвиге происходит сохранение знака первоначального операнда при выполнении сдвига. При выполнении команды ASR происходит расширение знакового разряда. Это позволяет использовать команду для деления знакового числа на 2^N . Однако для нечетных чисел деление не всегда

является корректным (разница в результате может составлять 1). При выполнении команды арифметического сдвига влево всякий раз при смене знакового бита устанавливается флаг V, а освободившиеся разряды заполняются 0. Таким образом, становится возможным при помощи команд ASR производить знаковое умножение числа на 2^N .

Флаг переноса устанавливается в соответствии с отбрасываемым битом.

Приведем пример, демонстрирующий работу этих команд:

```
org  $8000
ldaa #%00101001
ldx  #$1f00
staa 4,x      ; вывести содержимое аккумулятора
asl  4,x      ; умножить на два
asl  4,x      ; еще раз умножить на два (происходит переполнение)
asr  4,x      ; разделить на два
asr  4,x      ; разделить на два
```

LSLA, LSLB, LSL (opr),
 LSLD, LSRA, LSRB,
 LSR (opr), LSRD

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	?	?

Логические сдвиги производят сдвиг содержимого аккумулятора или ячейки памяти влево (LSL) или вправо (LSR). При этом освободившиеся разряды всегда заполняются нулями. Команды групп ASL и LSL выполняют в точности одинаковые действия и имеют одинаковые коды операций, поэтому покажем лишь отличие команд ASR от команд LSR:

```
org $8000
ldaa #%10101010
staa $1f04      ; установить в «1» через один бит
asr $1f04       ; арифметический сдвиг вправо:
asr $1f04       ; старший бит сохраняется
lsr $1f04       ; логический сдвиг:
lsr $1f04       ; старший бит заполняется «0»
```

ROLA, ROLB, ROL (opr),
 RORA, RORB, ROR (opr)

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	?	?	?	?

Команды циклического сдвига позволяют осуществить операцию логического сдвига над многобайтными числами. Отличие этих операций от операций логического сдвига состоит в том, что освободившийся разряд заполняется не нулем, а состоянием флага переноса C. Рассмотрим пример использования этих команд для сдвига 4байтного числа, расположенного в ячейках 0 ... 3, влево:

```
org $8000
ldx #0
lsl 3,x
rol 2,x
rol 1,x
rol 0,x
```

3.4. Контрольные вопросы

1. Каков результат выполнения программы


```
sec
clra
adda #0
```
2. Какие методы адресации применимы к командам циклического сдвига?
3. Расскажите о командах работы с битами регистра CCR.
4. Какие особенности работы с отладчиком следует учитывать при отладке программ, запрещающих прерывания?
5. В чем разность команд ASR и LSR?
6. Можно ли использовать команду ROLA вместо команд ASLA, LSLA?

7. Какие логические команды вы знаете?
8. Каким образом реализуется команда ASRD (сдвиг регистра D на 1 байт вправо)?
9. На какие группы можно подразделить команды сдвигов?
10. Дайте определение команд логического сдвига.
11. Чем отличается команда COM от команды NEG?
12. Каким образом можно эмулировать команду COM, пользуясь командами, изученными в данном разделе?
13. Какие параметры имеет команда BSET?
14. Чем отличается команда ORAA от команды EORA?

3.5 Задания

1. Написать тремя способами установку битов 2 и 3 в ячейке памяти \$10.
2. Написать программу, которая в четные биты регистра X записывает биты регистра A, а в нечетные – регистра B.
3. Написать программу, позволяющую инвертировать те биты регистра X, которые сброшены в регистре D.
4. Написать программу, сбрасывающую биты в регистре A, если соответствующие биты регистров A и B установлены. Остальные биты должны оставаться в исходном состоянии.
5. Написать программу, копирующую регистр A в регистр B с обратным порядком следования бит, инвертируя нечетные биты.
6. Установить 4- и 5-й биты в регистре A с помощью команды BSET.
7. Написать программу, копирующую содержимое регистров A и B в регистр X таким образом, чтобы старшая тетрада регистра A и старшая тетрада регистра B составляли старший байт регистра X, а младшие тетрады – младший.
8. Напишите программу, создающую зеркальное отображение битовой карты регистра A в регистре B.
9. Реализовать подсчет установленных в регистре X битов с занесением суммы в регистр B.
10. Написать программу, заполняющую ячейки памяти \$0 ... \$F соответствующими битами регистра D, т.е., например, если бит 0 в регистре D сброшен, то в ячейку \$0 записывается ноль, если установлен – \$FF.
11. Напишите программу, производящую обмен старшей и младшей тетрады аккумулятора A.
12. Произведите операцию «логическое ИЛИ» над регистрами X и Y.
13. Произведите операцию «логическое И» над регистрами X и Y.
14. Напишите программу, осуществляющую сдвиг влево 3-х ячеек памяти таким образом, чтобы выдвигаемый из старшей ячейки памяти бит становился на место младшего бита в младшей ячейке.

4. КОМАНДЫ ПЕРЕДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ. СПЕЦИАЛЬНЫЕ КОМАНДЫ

4.1. Команды передачи управления

Команды передачи управления можно разделить на 4 группы:

- команды безусловного перехода (JMP, BRA, BRN, NOP);
- команды работы с подпрограммами (JSR, BSR, RTS);
- команды условного перехода (BEQ, BNE, BMI, BPL, BCS/BLO, BCC/BHS, BVS, BVC, BGT, BGE, BLT, BLE, BLS, BHI, BRSET, BRCLR);
- команды работы с прерываниями (SWI, RTI).

Список команд передачи управления представлен в табл. 4.1. Все команды передачи управления не оказывают влияния на состояние регистра статуса.

Таблица 4.1

Команды передачи управления

JMP*	BEQ**	BCS/BLO**	BOT**	BLS**	JSR*****	SWI***
BRA**	BNE**	BCC/BHS**	BGE**	BHI**	BSR**	RTI***
BRN**	BMI**	BVS**	BLT**	BRSET*****	RTS***	
NOP***	BPL**	BVC**	BLE**	BRCLR*****		

Примечания:

* – команды, использующие расширенную и индексную адресацию;

** – команды, использующие относительную адресацию;

*** – команды, использующие неявную адресацию;

***** – команды, использующие смешанную адресацию: первый операнд использует либо прямую, либо индексную адресацию, второй – относительную;

***** – команды, использующие прямую, расширенную и индексную адресацию.

Команды *безусловного перехода* служат для передачи управления другому

JMP, BRA, BRN, NOP участку программы независимо от состояния регистра статуса микроконтроллера и содержимого ячеек памяти. Рассмотрим работу этих команд более

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	-	-	-	-

подробно на следующем примере:

```

org    $8000
    ldab    #$02      ;   выбор варианта ветвления программы
    ldx     #ways      ;   занести в регистр X адрес таблицы переходов
p0     ldy     0,x      ;   считать значение в регистр Y
        jmp     0,y      ;   вызвать подпрограмму по адресу, находящемуся в
                        ;   регистре Y
p1     nop           ;   задержка в 2 такта
        inx          ;   увеличить регистр X на 2 для выборки
                        ;   следующего адреса из таблицы переходов

```

```

        bra    p0          ;    перейти на метку p0
p2      bra    p1          ;    перейти на метку p1
p3      brn    *           ;    задержка в 3 такта
ways fdb    p1,p2,p3

```

Выполните программу в пошаговом режиме. Обратите внимание, что команда «jmp 0,x» выполнится два раза, при этом в первом случае переход будет осуществлен на метку p2, а во втором – p3.

JSR, BSR, RTS

Команды работы с подпрограммами позволяют

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	-	-	-	-

выделять часто используемую последовательность действий в подпрограмму. При переходе к подпрограмме (JSR, BSR) в стеке сохраняется адрес следующей за текущей команды и регистр PC изменяется по правилам команд безусловного перехода.

При выходе из подпрограммы по команде RTS происходит выборка из стека адреса возврата. Работу этих команд можно проследить на примере программы, размещающей адрес своей второй команды в ASCII формате в ячейках \$0 ... 3:

```

        org    $8000
p1      bsr    p1          ;    переход на следующую команду
        pulx           ;    получить в регистр X адрес p1 ($8002)
        xgdx           ;    расписать адрес в формате ASCII
        ldy    #0         ;    в ячейках $0 ... $3
        bsr    bin2ascii  ;    вызвать подпрограмму, сохраняющую
                           ;    регистр A в формате ASCII в ячейках
                           ;    (y), (y+1)
        tba           ;    переписать регистр B в регистр A
        iny           ;    и расписать его в ячейках $2, $3
        iny
        bsr    bin2ascii
        bra    *
bin2ascii pshb           ;    сохранить в стеке регистр B
        tab           ;    скопировать в него регистр A
        lsra           ;    выделить в A старшую тетраду
        lsra
        lsra
        bsr    hex2ascii  ;    преобразовать число 0 ... f в ASCII код
        staa    0,y
        tba           ;    повторить для младшей тетрады
        anda    #$f
        bsr    hex2ascii
        staa    1,y
        pulb

```

```

rts
hex2ascii adda #0      ; преобразование числа из диапазона
daa
adda #$f0
adca #$40
rts

```

Команды условного перехода служат для передачи управления в зависимости от состояния регистра CCR ОЭВМ или значения ячейки памяти (BRSET и BRCLR).

Иногда команды условного перехода, выполняющие передачу управления, в зависимости от состояния регистра статуса подразделяют на три группы:

- знаковые;
- беззнаковые;
- простые (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Команды условного перехода

Условие	Логическая функция	Мнемоника	Противоположное действие		Тип
$r > m$	$Z + (N \oplus V) = 0$	BGT	$r \leq m$	BLE	Знаковый
$r \geq m$	$N \oplus V = 0$	BGE	$r < m$	BLT	Знаковый
$r = m$	$Z = 1$	BEQ	$r \neq m$	BNE	Знаковый
$r \leq m$	$Z + (N \oplus V) = 1$	BLE	$r > m$	BGT	Знаковый
$r < m$	$N \oplus V = 1$	BLT	$r \geq m$	BGE	Знаковый
$r > m$	$C + Z = 0$	BHI	$r \leq m$	BLS	Беззнак.
$r \geq m$	$C = 0$	BCC/BHS	$r < m$	BCS/BLO	Беззнак.
$r = m$	$Z = 1$	BEQ	$r \neq m$	BNE	Беззнак.
$r \leq m$	$C + Z = 1$	BLS	$r > m$	BHI	Беззнак.
$r < m$	$C = 1$	BCS/BLO	$r \geq m$	BCC/BHS	Беззнак.
перенос	$C = 1$	BCS/BLO	нет пер.	BCC/BHS	Простой
отрицат.	$N = 1$	BMI	полож.	BPL	Простой
переп.	$V = 1$	BVS	нет пер.	BVC	Простой
$r = 0$	$Z = 1$	BEQ	$r \neq 0$	BNE	Простой

Покажем один из способов организации циклов с помощью команд условного перехода на примере сложения двух 4-байтных чисел:

```

org $8000
ldx  #$3      ; конечный адрес первого числа ldx
#$7          ; конечный адрес второго числа ldab
#$4          ; размер числа
clc          ; сброс флага переноса loop
ldaa 0,x      ; сложить два байта
adca 0,y
staa 0,x

```

dex		;	перейти к следующему байту
dey			
decb		;	уменьшить число обрабатываемых байтов
bne	loop	;	на 1 и повторить, если не 0

Другой пример показывает использование команд переходов при проверке правильности даты, записанной в виде BCD числа в ячейках \$0...\$3 в формате ДДММГГГГ (т.е. в ячейке \$0 хранится день, в ячейке \$1 – месяц, а в ячейках \$2 и \$3 – столетие и год в столетии соответственно):

	org	\$8000		
	ldx	#0	;	установить указатель на начало даты
	ldd	0,x	;	загрузить в А и В день и месяц
	tstb		;	если день или месяц равен 0 или
	beq	invalid	;	месяц больше 13, то дата не корректна
	tsta			
	beq	invalid		
	cmpb	#\$13		
	bhs	invalid		
	cmpb	#\$2	;	если это не февраль, то переход
	bne	lab2	;	на выборку числа дней из таблицы
	ldab	3,x	;	проверка високосного года
	bsr	bcd2bin		
	andb	\$03	;	получение остатка от деления на 4
	bne	lab2	;	год невисокосный, если не делится нацело
			;	на 4
	ldab	#\$29		
	bra	lab1		
lab2	bsr	bcd2bin	;	преобразование месяца в двоичный код
	decb			
	ldy	#dpm	;	настроить указатель на список дней в
			;	месяце
	aby			
	ldab	0,y	;	занести в В число дней в месяце
lab1	cba		;	если число дней больше вычисленного,
	bhi	invalid	;	то дата не корректна
valid	clc		;	год может быть любым, поэтому проверка
	bra	done	;	не производится и возвращается признак
			;	успешной проверки
invalid	sec		;	установка флага ошибки
done	bra	*		
bcd2bin	psha		;	преобразование числа в формате BCD,
	tba		;	заданного в регистре В в двоичный
	anda	#\$0F	;	формат

```

        lsr      ;      выделение старшей тетрады
        lsr
        lsr
        lsr
        lsl      ;      умножение на 10 и сложение
        aba      ;      с регистром A
        lsl
        lsl
        aba
        tab
        pula
        rts
dpm      fcb $31,$28,$31,$30,$31,$30,$31,$31,$30,$31,$30,$31

```

BRSET (opr),
BRCLR (opr)

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	-	-	-	-	-

Команды условного перехода, выполняющие передачу управления в зависимости от значения ячейки памяти, используются в циклах ожидания изменения какого-либо регистра управления, опросе внешних линий данных или работе с другими битовыми данными. Простой пример показывает, каким образом можно обеспечить отображение информации:

```

        org      $8000
        ldx      #$1f00      ;      установить регистр X на базовый адрес
        brset    3,x,#$01,p1 ;      если младший бит установлен, тогда
                                ;      перейти к программе ожидания сброса
p0      bsr      display      ;      отобразить информацию
        brclr    3,x,#$01,*    ;      ждать установки бита
                                ;      * – адрес текущей команды
p1      bsr      display
        brset    3,x,#$01,*    ;      ждать сброса бита
        bra      p0           ;      следующий цикл
display ldaa     3,x           ;      отобразить состояние
        staa     4,x
        rts

```

Команды работы с прерываниями предназначены для входа или выхода из прерывания.

Иногда бывает необходимо выполнить программную реализацию прерывания. Конечно, это можно реализовать через подпрограмму, в начале которой выполняется сохранение регистров в стеке, однако это снижает эффективность работы программы в целом. Для выполнения этой задачи служит команда генерации программного прерывания SWI.

Она выполняет последовательное сохранение в стеке регистров PC+1, Y, X,

SWI

S	X	H	I	N	Z	V	C
-	-	-	1	-	-	-	-

RTI

S	X	H	I	N	Z	V	C
?	?	?	?	?	?	?	?

* - значение может быть изменено только из 1 в 0.

D, CCR, запрещает маскируемые прерывания (устанавливает бит I в регистре CCR) и передает управление на подпрограмму, адрес которой находится в таблице векторов прерывания. Адрес обработчика прерывания SWI должен быть расположен по адресу

\$fff6, если работа происходит в нормальном режиме работы, или по адресу \$bff6, если в специальном. В режиме bootstrap по адресам \$bf40 ... \$bfff находится bootstrap ПЗУ, в котором векторы прерываний указывают на ячейки памяти внутреннего ОЗУ.

Таким

образом, в исследуемых в данном разделе экспериментах для задания окончательного адреса перехода будем использовать адреса \$f4 ... \$f6, в которых будет расположена команда безусловного перехода JMP.

Для возврата из прерывания используется команда RTI. Она восстанавливает значения регистров из запомненных в стеке, тем самым осуществляется возврат к прерванной программе с сохранением состояния регистров.

Небольшая программа демонстрирует работу этих двух команд:

```

                                org    $00f4      ; установка вектора обработчика
                                jmp     ih          ; прерывания SWI
                                org    $8000
gen_int    ldaa    #$55
                                swi              ; вызов прерывания
                                coma
                                swi
                                coma
                                swi
                                coma
                                swi
done       bra     *
ih         ldx     #$1f04      ; обработчик прерывания осуществляет
                                staa    0,x        ; отображение числа из регистра A
                                ldy     #$500      ; и задержку ≈10 мс
delay     dey
                                bne     delay
                                rti

```

Попробуйте выполнить эту программу в пошаговом режиме (как было указано в разд. 3, обработчик прерывания будет выполняться за 1 шаг) и с установкой точек останова на метке ih. Посмотрите содержимое области данных выше указателя стека (стекового фрейма) и убедитесь, что все регистры процессора были сохранены.

4.2. Специальные команды

Как отмечалось ранее, к специальным командам относятся команды, переводящие контроллер в режим низкого потребления энергии.

Команда WAI переводит контроллер в режим ожидания первого немаскированного прерывания. При этом сохранение регистров происходит в момент выполнения команды WAI, а не в момент обнаружения прерывания.

Команда STOP выполняет остановку всех внутренних генераторов микроконтроллера и перевод системы в режим минимального энергопотребления. В случае если установлен бит S регистра CCR, то команда STOP выполняется как команда NOP. Восстановление системы из режима минимального энергопотребления может произойти при появлении прерываний от RESET, XIRQ или немаскированного прерывания IRQ. В случае когда установлен бит X регистра CCR, маскирующий прерывание XIRQ и происходит это прерывание, то выполнение программы происходит со следующей за STOP команды. В некоторых масках семейства MC68HC11 была допущена ошибка, приводящая к неправильному интерпретированию кода команды в некоторых особых случаях, поэтому фирма Motorola рекомендует перед командой STOP помещать команду NOP, таким образом исключая эту ошибку.

4.3. Контрольные вопросы

1. Каково различие между командами JMP и BRA?
2. Объясните различие между командами WAI и STOP.
3. Каким образом можно реализовать переход к подпрограмме, не используя команд BSR и JSR?
4. Произойдет ли вызов программного прерывания при установленном флаге I в регистре CCR?
5. Какие команды относятся к знаковым командам условного перехода?
6. Какие виды переходов вам известны?
7. Каково назначение команд BLE, BSR, BCS, BRCLR?
8. Сколько и какие операнды используются командами условного перехода по состоянию бита?
9. Реализуйте (примерно) команды BRCLR и BRSET через другие команды.
10. Каков результат выполнения фрагмента программы:

	ldaa	#34
	ldab	#\$34
	cba	
	bmi	p2
	beq	p3
	bra	done
p2	ldaa	#45
	bra	done
p3	ldaa	#\$23
done	clrb	

11. Можно ли выполнить переход, аналогичный переходу по команде BCS, используя команды BNE и BLE?
12. Каким образом можно осуществить корректный выход из подпрограммы, не используя команду RTS?
13. Какие команды относятся к беззнаковым командам условного перехода?
14. Для какой цели используются команды WAI и STOP?
15. Каково назначение команд BLE, RTI, JSR, BEQ?

4.4 Задания

1. Произвести операцию «логическое И» между битом 0 и битом 4 для ячеек памяти, расположенных по адресам \$8200 ... \$821f, результат при этом должен быть записан в бит 1 соответствующей ячейки.
2. Написать программу, производящую подсчет количества четных чисел в ячейках \$2200 ... \$22ff.
3. Напишите программу, копирующую блок данных, расположенных по адресам \$8200 ... \$8220, в соответствующие ячейки \$0000 ... \$0020. При этом данные перезаписываются только в том случае, если бит 3 в соответствующей ячейке памяти сброшен.
4. Написать программу подсчета суммы 8-битных чисел больше нуля, расположенных в ячейках \$8200 ... \$82ff. Результат поместить в регистр Y. Количество чисел больше нуля расположенных в данных ячейках поместить в регистр A.
5. Произвести сортировку по возрастанию чисел, расположенных в ячейках \$8200 ... \$82ff.
6. Написать программу, подсчитывающую количество установленных битов в ячейках памяти \$8200 ... \$821f. Результат поместить в регистр X.
7. Произвести сортировку по убыванию чисел, расположенных в ячейках \$8200 ... \$82ff.
8. Написать программу, производящую подсчет количества нечетных чисел в ячейках \$8200 ... \$82ff.
9. Написать программу, подсчитывающую количество сброшенных битов в ячейках памяти \$8200 ... \$821f. Результат поместить в регистр Y.
10. Написать программу подсчета суммы 8-битных знаковых чисел, расположенных в ячейках \$8200 ... \$82ff.
11. Произвести операцию «логическое ИЛИ» между битом 2 и битом 5 для ячеек памяти, расположенных по адресам \$8200 ... \$821f, результат при этом должен быть записан в бит 3 соответствующей ячейки.
12. Произвести обмен старших тетрад ячеек, расположенных в блоках \$8200 ... \$821f и \$8220 ... \$823f.
13. Перестроить массив данных размером 256 байтов в обратном порядке, т.е. первый байт меняется местами с последним, второй с предпоследним и т.д.

14. Напишите программу, осуществляющую сдвиг массива данных размером 64 байта на 4 бита влево.

15. Напишите программу, зеркально перестраивающую биты в массиве данных размером 256 байтов, т.е. нулевой бит первого элемента массива становится последним битом последнего элемента, первый бит первого элемента — 6-м последнего элемента и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белевич, А. Ю. Микроконтроллеры семейства 68300 фирмы Motorola / А. Ю. Белевич, О. В. Сердюков, Г. Ю. Костин // Chip News. – 1996. – №2. – С. 32–36.
2. Бродин, В. Б. Технология проектирования микропроцессорных контроллеров / В. Б. Бродин // Электроника и компоненты. – 1997. – №1. – С. 8–9, №2. – С. 7–9.
3. Бродин, В. Б. Эмуляторы 8-разрядных ОЭВМ к IBM PC : сб. статей «Библиотека информационной технологии» / В. Б. Бродин, А. В. Калинин; под ред. Г. Р. Громова. – М. : ИнфоАрт, 1991. – Вып. 3. – С. 222–229.
4. Кобахидзе, Ш. Средства разработки и отладки для однокристальных микроконтроллеров / Ш. Кобахидзе, А. Тамазов // Chip News. – 1996. – №2. – С. 37–43.
5. Корнеев, В. Современные микропроцессоры / В. Корнеев. – 3-е изд. – СПб. : БХВ-СПб, 2003. – 448 с.
6. Коффрон, Дж. Технические средства микропроцессорных систем : практический курс / Дж. Коффрон; пер. с англ. – М. : Мир, 1983. – 344 с.
7. Куприянов, М. С. Коммуникационные контроллеры фирмы Motorola / М. С. Куприянов, О. Е. Мартынов, Д. И. Панфилов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2001. – 560 с.
8. Левенталь, Л. Введение в микропроцессоры: программное обеспечение, аппаратные средства, программирование / Л. Левенталь; пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 464 с.
9. Морисита, И. Аппаратные средства микроЭВМ / И. Морисита; пер. с япон. – М. : Мир, 1988. – 280 с.
10. Рафикузаман, М. Микропроцессоры и машинное проектирование микропроцессорных систем : в 2 кн. Кн. 1 / М. Рафикузаман; пер. с англ. – М. : Мир, 1988. – 312 с.
11. Токхайм, Р. Микропроцессоры : курс и упражнения / Р. Токхайм; пер. с англ.; под. ред. В. Н. Грасевича. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 336 с.
12. Фрир, Дж. Построение вычислительных средств на базе перспективных микропроцессоров / Дж. Фрир; пер. с англ. – М. : Мир, 1990. – 413 с.
13. Шагурин, И. И. Микропроцессоры и микроконтроллеры фирмы Motorola : справ. пособ. / И. И. Шагурин. – М. : Радио и связь, 1998. – 560 с.
14. Программно-аппаратные комплексы для проектирования и отладки систем на базе микроконтроллеров Motorola. / И. И. Шагурин [и др.] // Chip News. – 1998. – №1. – С. 22–27.
15. Шагурин, И. И. Современные микроконтроллеры и микропроцессоры Motorola : справочник / И. И. Шагурин. – М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 952 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

СИСТЕМА КОМАНД

Таблица А.1

Команды пересылки

Мнемокод	Команда	Операция
LDA(A, B) (opr) LD(D, S, X, Y) (opr)	Загрузка А или В Загрузка D, SP, X или Y	$(M) \rightarrow A$ или B $(M) \rightarrow Dh, SPh, Xh$ или Yh $(M+1) \rightarrow Dl, SP, Xl$ или Yl
STA(A, B) (opr) ST(D, S, X, Y) (opr)	Запись А или В в память Запись D, SP, X или Y в память	A или $B \rightarrow M$ Dh, SPh, Xh или $Yh \rightarrow (M)$ Dl, SP, Xl или $Yl \rightarrow (M+1)$
PSH(A, B) PSH(X, Y)	Запись А или В в стек Запись X или Y в стек	$A \rightarrow (SP), SP-1 \rightarrow SP$ Xl или $Yl \rightarrow (SP), SP-1 \rightarrow SP$ Xh или $Yh \rightarrow (SP), SP-2 \rightarrow SP$
PUL(A, B) PUL(X, Y)	Загрузка А или В из стека Загрузка X или Y из стека	$SP+1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow A$ или B $SP+1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow Xh$ или Yh $SP+1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow Xl$ или Yl
TAB TAP TBA TPA TS(X, Y) T(X, Y)S XGD(X, Y)	Пересылка А в В Пересылка А в CCR Пересылка В в А Пересылка CCR в А Пересылка SP в X или Y Пересылка X или Y в SP Обмен D с X или Y	$A \rightarrow B$ $A \rightarrow CCR$ $B \rightarrow A$ $CCR \rightarrow A$ $SP \rightarrow (X, Y)$ $(X, Y) \rightarrow SP$ $D \leftrightarrow (X, Y)$
CLR(A, B) CLR (opr)	Запись 0 в А или В Запись 0 в М	$\$00 \rightarrow (A, B)$ $\$00 \rightarrow M$

Таблица А.2

Команды битовых операций и изменения признаков

Мнемокод	Команда	Операция
BCLR (opr) #im8	Установка битов в «0»	$Bi \rightarrow 0$
BSET (opr) #im8	Установка битов в «1»	$Bi \rightarrow 1$
CLC	Установка признака C = 0	$0 \rightarrow C$
CLI	Установка признака I = 0	$0 \rightarrow I$
CLV	Установка признака V = 0	$0 \rightarrow V$
SEC	Установка признака C = 1	$1 \rightarrow C$
SLI	Установка признака I = 1	$1 \rightarrow I$
SEV	Установка признака V = 1	$1 \rightarrow V$

Таблица А.3

Команды арифметических операций и сравнения

Мнемокод	Команда	Операция
ADD(A, B, D) (opr)	Сложение A, B или D с (M)	$(A, B, D) + (M), A, B, D$
ADC(A, B) (opr)	Сложение A или B с (M) с учетом переноса	$(A, B) + (M) + C \rightarrow A, B,$
ABA	Сложение A с B	$A + B \rightarrow A$
AB(X, Y)	Сложение X или Y с B	$(X, Y) + B \rightarrow X, Y$
DAA	Десятичная коррекция сложения	
SUB(A, B, D) (opr)	Вычитание (M) из A, B или D	$(A, B, D) (M) A, B, D$
SUBC(A, B) (opr)	Вычитание (M) из A или B с учетом заема	$(A, B) (M) C \rightarrow A, B$
MUL	Умножение A на B	$A \times B \rightarrow D$
IDIV	Деление D на X (целое)	$D/X \rightarrow X, r \rightarrow D$
FDIV	Деление D на X (дробное)	$D/X \rightarrow X, r \rightarrow D$
NEG (opr)	Изменение знака (M)	$0 (M) \rightarrow (M)$
NEG(A, B)	Изменение знака A или B	$0 A, B \rightarrow A, B$
CBA	Сравнение A с B	$A B$
CMP(A, B) (opr)	Сравнение A или B с (M)	$(A, B) (M)$
CP(D, X, Y)	Сравнение D, X или Y с (M)	$(D, X, Y) (M)$
TST (opr)	Тестирование (M)	$(M) 0$
TST(A, B)	Тестирование A или B	$(A, B) 0$
INC (opr)	Инкремент (M)	$(M) + 1 \rightarrow (M)$
INC (A, B, X, Y, S)	Инкремент A, B, X, Y или SP	$(A, B, X, Y, SP) + 1 \rightarrow (A, B, X, Y, SP)$
DEC (opr)	Декремент (M)	$(M) 1 \rightarrow (M)$
DEC (A, B, X, Y, S)	Декремент A, B, X, Y или SP	$(A, B, X, Y, SP) 1 \rightarrow (A, B, X, Y, SP)$

Команды логических операций и сдвигов

Мнемокод	Команда	Операция
AND(A, B) (opr)	Логическое И содержимого A или B с (M)	$(A, B) \wedge (M) \rightarrow A, B$
COM (opr)	Инверсия (M)	$(M) \rightarrow M$
COM(A, B)	Инверсия A или B	$(A, B) \rightarrow A, B$
ORA(A, B) (opr)	Логическое ИЛИ содержимого A или B с (M)	$(A, B) \vee (M) \rightarrow A, B$
EOR(A, B) (opr)	Исключающее ИЛИ содержимого A или B с (M)	$(A, B) \oplus (M) \rightarrow A, B$
BIT(A, B) (opr)	Побитовое тестирование A или B с (M)	$(A, B) \wedge (M)$
ASL (opr), LSL (opr)	Арифметический (логический) сдвиг влево (M)	
ASL(A, B, D), LSL(A, B, D)	Арифметический (логический) сдвиг влево A, B или D	
ASR (opr)	Арифметический сдвиг вправо (M)	
ASR(A, B)	Арифметический сдвиг вправо A или B	
LSR (opr)	Логический сдвиг вправо (M)	
LSR(A, B, D)	Логический сдвиг вправо A, B или D	
ROL(opr)	Циклический сдвиг влево (M)	
ROL(A, B)	Циклический сдвиг влево A или B	
ROR (opr)	Циклический сдвиг вправо (M)	
ROR(A, B)	Циклический сдвиг вправо	

Таблица А.5

Установка значений признаков

Команды	Признаки				
	Н	N	Z	V	С
ABA, ADCA, ADCB, ADDA, ADDB	+	+	+	+	+
ADDD, ASL (LSL), ASLA (LSLA) ASLB (LSLB), ASLD (LSLD), ASR, ASRA, ASRB, CBA, CMPA, CMPB, CPD, CPX, CPY, DAA, NEG, NEGA, NEGB, ROL, ROLA, ROLB, ROR, RORA, RORB, SBA, SBCA, SBCB, SUBA, SUBB, SUBD,		+	+	+	+
LSR, LSRA, LSRB, LSRD	–	0	+	+	+
ANDA, ANDB, BCLR, BSET, BITA, BITB, EORA, EORB, LDAA, LDAB, LDD, LDS, LDX, LDY, ORAA, GRAB, STAA, STAB, STD, STS, STX, STY, TAB, TBA	–	+	+	0	–
TST, TSTA, TSTB	–	+	+	0	0
CLR, CLRA, CLRB	–	0	1	0	0
COM, COMA, COMB	–	+	+	0	1
DFC, DECA, DECB, INC, INCA, INCB	–	+	+	+	–
DEX, DEY, INX, INY	–	–	+	–	–
MUL	–	–	–	–	+
FDIV	–	–	+	+	+
IDIV	–	–	+	0	+
CLC	–	–	–	–	0
CLV	–	–	–	0	–
SEC	–	–	–	–	1
SEV	–	–	–	1	–

Примечания:

+ – установка значения по результату операции;

– – значение остается неизменным;

0, 1 – установка соответствующих значений признаков.

Таблица А.6

Команды управления программой и процессором

Мнемокод	Команда	Операция
JMP (opr) Bcc r8	Безусловный переход Условное ветвление	EA \rightarrow PC PC + 2 + r8 \rightarrow PC, при cc
BRA r8 BRN r8	Безусловное ветвление Отсутствие ветвления	PC + 2 + r8 \rightarrow PC PC + 2 \rightarrow PC
BRCLR #im8, (opr), r8 BRSET #im8 (opr), r8	Ветвление при bn = 0 Ветвление при bn = 0	PC + 2 + r8 \rightarrow PC, при bn = 0 PC + 2 + r8 \rightarrow PC, при bn = 1
JSR (opr)	Переход к подпрограмме	PC + 2 или 3 \rightarrow PC, PCl \rightarrow (SP), SP 1 \rightarrow SP PCh \rightarrow (SP), SP 1 \rightarrow SP EA \rightarrow PC
BSR r8	Ветвление в подпрограмме	PC + 2 или 3 \rightarrow PC, PCl \rightarrow (SP), SP 1 \rightarrow SP PCh \rightarrow (SP), SP 1 \rightarrow SP PC + r8 \rightarrow PC
RTS	Возврат из подпрограммы	SP + 1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow PCh SP + 1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow PCl
SWI	Программное прерывание	PC + 1 \rightarrow PC, PCl \rightarrow (SP), SP 1 \rightarrow SP, PCh \rightarrow (SP), SP 1 \rightarrow SP, Yl \rightarrow (SP), SP 1 \rightarrow SP, Yh \rightarrow (SP), SP 1 \rightarrow SP, Xl \rightarrow (SP), SP 1 \rightarrow SP, Xh \rightarrow (SP), SP - 1 \rightarrow SP, A \rightarrow (SP), SP 1 \rightarrow SP, B \rightarrow (SP), SP 1 \rightarrow SP, CCR \rightarrow (SP), SP 1 \rightarrow SP, V \rightarrow PC, 1 \rightarrow I
RTI	Возврат из прерывания	SP + 1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow CCR, SP + 1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow B, SP + 1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow A, SP + 1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow Xh, SP + 1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow Xl, SP + 1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow Yh, SP + 1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow Yl, SP + 1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow PCh SP + 1 \rightarrow SP, (SP) \rightarrow PCl
NOP	Отсутствие операций	PC + 1 \rightarrow PC

Окончание табл. А.6

Мнемокод	Команда	Операция
WAI	Переход в режим ожидания до прерывания	$PC + 1 \rightarrow PC$, $PCl \rightarrow (SP)$, $SP 1 \rightarrow SP$, $PCh \rightarrow (SP)$, $SP 1 \rightarrow SP$, $Yl \rightarrow (SP)$, $SP 1 \rightarrow SP$, $Yh \rightarrow (SP)$, $SP 1 \rightarrow SP$, $Xl \rightarrow (SP)$, $SP 1 \rightarrow SP$, $Xh \rightarrow (SP)$, $SP 1 \rightarrow SP$, $A \rightarrow (SP)$, $SP 1 \rightarrow SP$, $B \rightarrow (SP)$, $SP 1 \rightarrow SP$, $CCR \rightarrow (SP)$, $SP 1 \rightarrow SP$
STOP	Переход в режим остановки	Остановка генератора тактовых импульсов
TEST	Тестирование (выполняется на заводе-изготовителе в специальном режиме тестирования)	

Таблица А.7

Мнемокоды и условия выполнения команд условных ветвлений

Мнемокод	Проверяемое условие	Значение ее
BNE	Не равно (ненулевой результат)	$Z = 0$
BEQ	Равно (нулевой результат)	$Z = 1$
BHI	Выше	$(Z \vee C) = 0$
BLS	Ниже или равно	$(Z \vee C) = 1$
BHS (BCC)	Выше или равно (нет переноса)	$C = 0$
BLO (BCS)	Ниже (есть перенос)	$C = 1$
BPL	Положительный результат	$N = 0$
BMI	Отрицательный результат	$N = 1$
BCE	Больше или равно	$N \oplus V = 0$
BLT	Меньше	$N \oplus V = 1$
BOT	Больше	$Z \vee (N \oplus V) = 1$
BLE	Меньше или равно	$Z \vee (N \oplus V) = 1$

ПРИМЕР ПРОГРАММЫ

Ниже приведен пример программы, которая реализует следующую математическую функцию:

$$F = \frac{a^2 + b^2 + c^2}{a + 2} \cdot d,$$

где a, b, c, d – переменные, принимающие значения 0 ... 255.

Ответ формируется в следующих регистрах:

X – старшая часть;

Y – младшая часть.

org \$8000 ; адрес размещения	abx
; программы в памяти	stx \$8240 ; x = a + 2
a equ 3 ; инициализация	
b equ 5 ; переменных	ldd \$8210
c equ 7	idiv
d equ 9	stx \$8210
	std \$8250 ; остаток от a*a/a + 2
ldaa #a	clra
ldab #a	clrb
mul	xgdx
std \$8210 ; a*a	clra
	clrb ; x = 0, d = 0
ldaa #b	
ldab #b	ldd \$8220
mul	ldx \$8240
std \$8220 ; b*b	idiv
	stx \$8220
ldaa #c	std \$8260 ; остаток от b*b/a + 2
ldab #c	clra
mul	clrb
std \$8230 ; c*c	xgdx
	clra
clra	clrb ; x = 0, d = 0
clrb	
xgdx	ldd \$8230
clra	ldx \$8240
clrb ; x = 0, d = 0	idiv
	stx \$8230
ldx #a	std \$8270 ; остаток от c*c/a + 2
ldab #2	

ldd \$8250	; 1-й остаток в d	clrb	
addd \$8260	; 1-й + 2-й	addd \$8260	
	; остаток	std \$8270	; c*d
addd \$8270	; 1-й + 2-й + 3-й		
	; остаток	ldx \$8240	
ldx \$8240		idiv	
idiv		std \$8210	; остаток от
std \$8250	; сохраняем пос-		; всех остатков
	; ледний остаток	stx \$8220	; добавить к
xgdx			; результату
addd \$8210		ldd \$8280	
addd \$8220		clra	
addd \$8230		addd \$8220	; прибавка
			; точности
std tw		pshb	
ldaa #d		psha	
mul		pulb	
std m2		clra	
ldab tw		addd \$8290	
ldaa #d		xgdx	; формируем
mul		pula	; результат
addb m2		clrb	
adca #0		xgdy	
std m1		xgdy	
		psha	
ldx m1		xgdx	
ldy m2		pshb	
		psha	
stx \$8290	; старшая часть	clra	
	; результата	psha	
sty \$8280	; младшая	pulx	
	; часть результата	puly	
ldd \$8250			
ldaa #d		clra	
mul		clrb	
std \$8260	; младшая часть		
	; от c*d	loop:	; бесконечный
ldd \$8250		bra loop	; цикл
ldab #d		rts	
mul			
std \$8270	; старшая часть	tw dw 0	
	; от c*d	m1 db 0	
pshb		m2 db 0	
pula		m3 db 0	