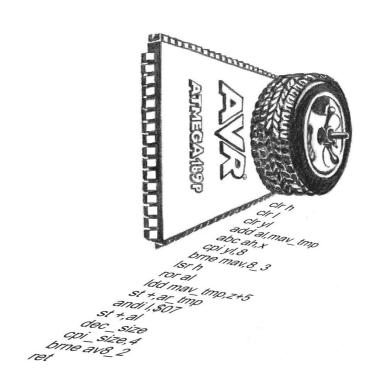
# А. А. Зубарев

# АССЕМБЛЕР ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ АVR



# Федеральное агентство по образованию Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)

# А. А. Зубарев

# ACCEMБЛЕР ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ AVR

Учебное пособие

Омск Издательство СибАДИ 2007 УДК 004.43 ББК 22.183.49 3 91

Рецензенты д-р техн. наук, проф. С.В. Бирюков (ОмГТУ), канд. техн. наук, доц. К.Р. Сайфутдинов (ОмГТУ)

Работа одобрена редакционно-издательским советом академии в качестве учебного пособия по дисциплинам "Проектирование автоматических систем", "Микропроцессорные устройства автоматики" для специальности 220301 "Автоматизация технологических процессов и производств", а также "Проектирование микропроцессорных систем", "Разработка микропроцессорных устройств диагностики автомобилей и тракторов" для специальности 140607 "Электрооборудование автомобилей и тракторов" и для проведения учебной практики.

#### Зубарев А.А.

3 91 **Ассемблер для микроконтроллеров AVR:** Учебное пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. – 112 с.

ISBN 978-5-93204-310-3

Предназначено для студентов всех форм обучения по специальностям, изучающим проектирование автоматических измерительных и управляющих систем на микроконтроллерах, может быть использовано в курсовом и дипломном проектированиях.

Учебное пособие в простой и доступной форме знакомит читателей с языком программирования Ассемблером для однокристальных микроконтроллеров AVR. Он входит в состав интегрированной среды разработки AVR Studio. Ассемблер как машинно-зависимый язык изменяется и усложняется в процессе совершенствования и усложнения микроконтроллеров. С 2005 г. в состав AVR Studio входит Ассемблер 2 с препроцессором в стиле языка Си. В учебном пособии описывается Ассемблер, входящий в состав AVR Studio 4.13 build 528 (версия, вышедшая в марте 2007 г.).

Приводятся описания синтаксиса языка программирования, директив, команд и состава программного обеспечения. Изложение сопровождается примерами использования команд (инструкций) и директив языка в исходных текстах программ.

Табл.9. Ил.2.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ	4
1.1. Введение	4
1.2. Основные сведения о языке Ассемблер	4
1.3. Hoвoe в AVR Assembler 2	
2. СИНТАКСИС AVR АССЕМБЛЕРА	
2.1. Инструкции процессоров AVR	9
2.2. Выражения	
2.2.1. Операнды	
2.2.2. Операторы	
2.2.3. Функции	
3. ДИРЕКТИВЫ	18
3.1. Директивы AVRASM	
3.2. Директивы AVRASM2	28
3.3. Операторы AVRASM2	37
3.4. Предопределенные макросы	
4. НАСТРОЙКА АССЕМБЛЕРА	39
4.1. Опции	39
4.2. Опции командной строки AVRASM2	41
4.3. Преобразователь XML	45
4.3.1. Размещение и вызов	46
4.3.2. Примеры	46
4.3.3. Соглашения об именах файлов	47
4.4. Сообщения об ошибках	48
5. СИСТЕМА КОМАНД 8-РАЗРЯДНЫХ RISC	
МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ СЕМЕЙСТВА AVR	51
5.1. Список команд	51
5.2. Описание команд	54
Контрольные вопросы	110

#### 1. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

#### 1.1. Введение

Микроконтроллеры (МК) в настоящее время широко применяются в новых разработках автоматизированного оборудования в связи с тем, что использование значительно затраты на разработку и снижает изготовление оборудования, позволяет повысить a также функциональность. В области автомобильного сервиса МК используются в приборах для диагностики и в оборудовании для ремонта и обслуживания. В частности, в станках для балансировки колес автомобилей (рис.1), производимых компанией «СИВИК» (г. Омск), применяются МК AVR, выпускаемые американской фирмой Atmel.



Рис.1. Станок для балансировки колес

Выбор МК AVR Atmel обусловлен тем, что у них выше отношение «функциональность/ цена» по сравнению с аналогичными МК.

Кроме того, фирмой бесплатно предоставляется вся документация и обеспечение программное ДЛЯ составления, редактирования компиляции программ, а также их отладки и программирования памяти МК. Это программное обеспечение для микроконтроллеров называется интегрированная среда разработки (Integrated Development Environment IDE). Конкретно для AVR − AVR Studio version 4.13 build 528 (версия, вышедшая в марте 2007 г.). Свежая AVR Studio свободно версия доступна на сайте фирмы Atmel: http://www.atmel.com.

# 1.2. Основные сведения о языке Ассемблер

Язык Ассемблер — это машинно-зависимый язык, т. е. набор инструкций (команд) языка зависит от архитектуры МК: количества регистров, видов и объёма памяти, набора периферийных устройств.

Чтобы удовлетворить запросы потребителей (разработчиков аппаратуры), выпускают микроконтроллеры с различным составом

периферийных устройств и объемом памяти. Если у них общее вычислительное ядро, то они относятся к одному семейству МК, у которого имеется полный набор команд для самого сложного МК (с полным набором периферийных устройств и максимальным объемом памяти). Чем меньше периферийных устройств входят в состав конкретного МК, тем меньше для него набор инструкций, т.е. из общего набора инструкций исключаются те, которые относятся к отсутствующим периферийным устройствам.

Полный набор команд МК семейства AVR дан в разделе 5. Для более точной информации по командам конкретного МК обращайтесь к описанию команд инструкций в документации. Для конкретного МК полный набор команд будет усечен.

Кроме команд МК для удобства программирования, сжатия исходного текста, улучшения наглядности и читаемости программ в язык Ассемблер введены директивы, операторы, метки, комментарии и т.п. Этот набор дополняется и изменяется по мере совершенствования языка. Он обрабатывается Препроцессор обрабатывает препроцессором. программы его компиляции, преобразуя исходного кода ДО инструкции MK. Он вызывается дополнительные команды В автоматически при запуске компилятора.

В состав AVR Studio входит компилятор с языка Ассемблер. Компилятор транслирует исходные коды с языка Ассемблера в объектный код, который не требует линковки, и может быть непосредственно запрограммирован в микроконтроллеры AVR. Полученный объектный код можно использовать в симуляторе ATMEL AVR Studio либо в эмуляторе ATMEL AVR In-Circuit Emulator, а также в программном эмуляторе VMLAB. Компилятор работает под Microsoft Windows 9х – XP.

Начиная с AVR Studio v. 4.11 (2005 г.), язык Ассемблер для AVR дополнен новой частью AVR Assembler 2 (в дальнейшем AVRASM2). Получилась совместимая замена старого Ассемблера (в дальнейшем AVRASM) с новыми характеристиками. В данном учебном пособии отражены обновления Ассемблера до версии AVRASM2.1.9 (март 2007 г.).

#### 1.3. Hoboe B AVR Assembler 2

Новые характеристики в AVRASM2 по сравнению с AVRASM:

- препроцессор в Си-стиле;
- усложнение синтаксиса;
- новые директивы Ассемблера;
- улучшенное вычисление выражений;
- не нужно задавать путь для включаемых файлов;
- улучшение макроопределений.

Препроцессор AVRASM2 моделирует препроцессор языка Си: выполняет замену идентификаторов (#define, #undef), условную компиляцию (#if, #endif, #else) и т.д.

Синтаксис Ассемблера немного усложнился, ключевые слова Ассемблера (команды, регистры, встроенные функции) не могут больше использоваться как символы (слова), определенные пользователем (метки, имена в директивах .def/.equ/.set). Даже если это будет являться причиной ошибок в существующих кодах (программах), это должно помочь избежать досадных ошибок в дальнейшем, так как программа становится удобочитаемой.

Введены новые директивы Ассемблера (см. ниже).

Улучшение вычисления выражений состоит в том, что постоянные выражения для операторов могут быть целыми или с плавающей точкой и вычисляться в соответствии с правилами приоритета Си. Символы и операнды команд - всегда целые. До присваивания значения функции должна быть выполнена конверсия форматов операндов. При преобразовании float-->int выдается предупреждение, что дробная часть отброшена. Как целые числа, так и с плавающей точкой имеют 64- битовое представление.

AVRASM2 поддерживает те же операторы, что и AVRASM, и дополнительно оператор % ( деление по модулю).

Дополнительно к функциям, поддерживаемым AVRASM, введены новые функции AVRASM2 (см. ниже).

Не нужно задавать путь для включаемых файлов, так как в отличие от AVRASM AVRASM2 знает, где расположена директория Appnotes.

Количество параметров в макросах AVRASM2 не ограничено (в AVRASM максимум 10).

В AVRASM2 допустим вложенный макровызов (т. е. один макрос вызывает другой), тем не менее постоянное использование этой возможности не рекомендовано.

#### 2. СИНТАКСИС AVR АССЕМБЛЕРА

Исходные файлы языка Ассемблер – это текстовые файлы, состоящие из строк, содержащих инструкции (команды), метки и директивы. Инструкции и директивы, как правило, имеют один или несколько операндов.

Входная строка может иметь одну из четырёх форм:

[метка:] директива [операнды] [Комментарий]

[метка:] инструкция [операнды] [Комментарий]

Комментарий

Пустая строка.

Любая строка может начинаться с метки, которая является набором символов, заканчивающимся двоеточием. Метки используются для указания места, в которое передаётся управление при переходах, а также для задания имён переменных.

Комментарий имеет следующую форму:

; [Текст]

Позиции в квадратных скобках необязательны. Текст после точки с запятой (;) и до конца строки игнорируется компилятором.

Метки, инструкции и директивы более детально описываются ниже.

Примеры:

label: .EQU var1=100 ; Устанавливает var1 равным 100 (Это директива)

.EQU var2=200 ; Устанавливает var2 равным 200 : rjmp test ; Бесконечный цикл (Это инструкция)

; Строка с одним только комментарием.

Компилятор не требует, чтобы метки, директивы, комментарии или инструкции находились в определённой колонке строки.

Основной синтаксис AVRASM совместим с AVRASM2 с исключениями, отмеченными ниже:

- Ключевые слова.
- Директивы препроцессора.
- Комментарии.
- Продолжения строк.
- Строки и символьные константы.
- Составные инструкции в строке.

*Ключевые слова.* В отличие от AVRASM встроенные идентификаторы (ключевые слова) зарезервированы и не могут быть переопределены. Ключевые слова включают все инструкции (команды), регистры R0-R31 и X, Y, Z и все функции. Ключевые слова Ассемблер распознаёт независимо от регистра, в котором они набраны, за исключением чувствительных к регистру опций, в которых ключевые слова набираются в нижнем регистре (т.е. "add" зарезервирован, а "ADD" – нет).

**Директивы препроцессора.** AVRASM2 считает директивами препроцессора все строки, начинающиеся с '#' (или первый непустой символ в строке, так как пробелы и символы табуляции игнорируются).

**Комментарии.** Дополнительно к классическим комментариям Ассемблера, начинающимся с ';', AVRASM2 признает комментарии в Систиле:

```
.....; Остальная часть строки является комментарием.
```

<sup>//</sup> Подобно ';' остальная часть строки является комментарием.

<sup>/\*</sup> Блок комментариев может располагаться в нескольких строках.
Этот стиль комментариев не может быть вложенным \*/

Ассемблер распознает разделители комментария (';') в стиле AVRASM, а также комментарии Си-стиля. Однако ';' используется в синтаксисе языка Си, что может привести к конфликту при использовании ';' в качестве разделителя комментария, поэтому не рекомендуется использовать комментарии в стиле Ассемблера вместе с директивами препроцессора AVRASM2.

**Продолжение строки.** Подобно Си, строки исходных кодов могут быть продолжены посредством '\ '— обратной косой черты в конце строки. Это особенно полезно для длинных макроопределений препроцессора и для длинных директив .db.

Пример:

.db 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0, 11,12, 21, 214,235,634, \n', 0, 2, \ 12, 3,"'это продолжение верхней строки", \n', 0, 3, 0

Строки и символьные константы. AVRASM2 понимает строки и символы так же, как AVRASM, кроме того, служебные символы, которые не поддерживаются AVRASM. Строка, заключенная в двойные кавычки ("), может быть использована только вместе с директивой .db. Строка передается буквально, никакие служебные символы и NUL-окончания не распознаются. Символьные константы, заключенные в одиночные кавычки ('), могут использоваться везде, где допустимо целое выражение. Служебные символы в Си-стиле распознаются с тем же значением, как в Си (табл. 1).

Служебные символы в Си-стиле

Таблица 1

Служебные символы	Назначение
\n	Конец строки (ASCII LF 0x0a)
\r	Перевод строки (ASCII CR 0x0d)
\a	Звуковой сигнал Alert bell (ASCII BEL 0x07)
\b	Возврат каретки (ASCII BS 0x08)
\f	Подача формы (ASCII FF 0x0c)
\t	Горизонтальная таб. (ASCII HT 0x09)
\v	Вертикальная таб. (ASCII VT 0x0b)
\\	Обратная косая черта
\0	Нулевой символ (ASCII NUL)

Ассемблером также распознаются 000 = 800 восьмеричное число) и xhh (hh = 100) на xhh (hh = 100) на

Примеры:

.db "Hello\n"

// - эквивалент:

.db 'H', 'e', 'l', 'l', 'o', '\\', 'n,

Для того чтобы создать эквивалент Си-строки "Привет, мир \n", делают следующим образом:

.db "Hello, world", '\n', 0

Составные инструкции в строке. AVRASM2 допускает составные инструкции (команды) и директивы в строке, но их использование не рекомендовано. Это нужно для того, чтобы поддерживать распаковку (расширение) многострочных макроопределений препроцессора.

*Операнды.* Дополнительно к операндам AVRASM AVRASM2 поддерживает выражения с плавающей точкой.

# 2.1. Инструкции процессоров AVR

Набор инструкций (команд) процессоров AVR приведен в табл. 2-5, более детальное описание их можно найти в разделе 5.

Арифметические и логические инструкции

Таблица 2

Мнемоника	Операнды	Описание	Операция	Флаги	Циклы
1	2	3	4	5	6
ADD	Rd,Rr	Суммирование без переноса	Rd = Rd + Rr	Z,C,N,V,H,S	1
ADC	Rd,Rr	Суммирование с переносом	Rd = Rd + Rr + C	Z,C,N,V,H,S	1
SUB	Rd,Rr	Вычитание без переноса	Rd = Rd - Rr	Z,C,N,V,H,S	1
SUBI	Rd,K8	Вычитание константы	Rd = Rd - K8	Z,C,N,V,H,S	1
SBC	Rd,Rr	Вычитание с переносом	Rd = Rd - Rr - C	Z,C,N,V,H,S	1
SBCI	Rd,K8	Вычитание константы с переносом	Rd = Rd - K8 - C	Z,C,N,V,H,S	1
AND	Rd,Rr	Логическое И	$Rd = Rd \cdot Rr$	Z,N,V,S	1
ANDI	Rd,K8	Логическое И с константой	$Rd = Rd \cdot K8$	Z,N,V,S	1
OR	Rd,Rr	Логическое ИЛИ	Rd = Rd V Rr	Z,N,V,S	1
ORI	Rd,K8	Логическое ИЛИ с константой	Rd = Rd V K8	Z,N,V,S	1
EOR	Rd,Rr	Логическое исключающее ИЛИ	Rd = Rd EOR Rr	Z,N,V,S	1
COM	Rd	Побитная инверсия	Rd = FF - Rd	Z,C,N,V,S	1
NEG	Rd	Изменение знака (доп. код)	Rd = \$00 - Rd	Z,C,N,V,H,S	1
SBR	Rd,K8	Установить бит (биты) в регистре	Rd = Rd V K8	Z,C,N,V,S	1
CBR	Rd,K8	Сбросить бит (биты) в регистре	$Rd = Rd \cdot (\$FF - K8)$	Z,C,N,V,S	1
INC	Rd	Инкрементировать значение регистра	Rd = Rd + 1	Z,N,V,S	1
DEC	Rd	Декрементировать значение регистра	Rd = Rd - 1	Z,N,V,S	1

# Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
TST	Rd	Проверка на ноль либо отрицательность	$Rd = Rd \cdot Rd$	Z,C,N,V ,S	1
CLR	Rd	Очистить регистр	Rd = 0	Z,C,N,V ,S	1
SER	Rd	Установить регистр	Rd = FF	None	1
ADIW	Rdl,K6	Сложить константу и слово	Rdh:Rdl = Rdh:Rdl + K6	Z,C,N,V ,S	2
SBIW	Rdl,K6	Вычесть константу из слова	Rdh:Rdl = Rdh:Rdl - K 6	Z,C,N,V ,S	2
MUL	Rd,Rr	Умножение чисел без знака	R1:R0 = Rd * Rr	Z,C	2
MULS	Rd,Rr	Умножение чисел со знаком	R1:R0 = Rd * Rr	Z,C	2
MULSU	Rd,Rr	Умножение числа со знаком с числом без знака	R1:R0 = Rd * Rr	Z,C	2
FMUL	Rd,Rr	Умножение дробных чисел без знака	R1:R0 = (Rd * Rr) << 1	Z,C	2
FMULS	Rd,Rr	Умножение дробных чисел со знаком	R1:R0 = (Rd *Rr) << 1	Z,C	2
FMULSU	Rd,Rr	Умножение дробного числа со знаком с числом без знака	R1:R0 = (Rd * Rr) << 1	Z,C	2

# Таблица 3

# Инструкции ветвления

Мнемоника	Опе- ранды	Описание	Операция	Флаги	Циклы
1	2	3	4	5	6
RJMP	k	Относительный переход	PC = PC + k + 1	Нет	2
IJMP	Нет	Косвенный переход на (Z)	PC = Z	Нет	2
EIJMP	Нет	Расширенный косвенный переход на (Z)	STACK = PC+1, PC(15:0) = Z, PC(21:16) = EIND	Нет	2
JMP	k	Переход	PC = k	Нет	3
RCALL	k	Относительный вызов подпрограммы	STACK = PC+1, $PC = PC + k + 1$	Нет	3/4*
ICALL	Нет	Косвенный вызов (Z)	STACK = PC+1, PC = Z	Нет	3/4*
EICALL	Нет	Расширенный косвенный вызов (Z)	STACK = PC+1, PC(15:0) = Z, PC(21:16) =EIND	Нет	4*
CALL	k	Вызов подпрограммы	STACK = PC+2, PC = k	Нет	4/5*
RET	Нет	Возврат из подпрограммы	PC = STACK	Нет	4/5*
RETI	Нет	Возврат из прерывания	PC = STACK	I	4/5*

# Продолжение табл.3

			I		
1	2	3	4	5	6
CPSE	Rd,Rr	Сравнить, пропустить, если равны	if (Rd ==Rr) PC = PC 2 or 3	Нет	1/2/3
CP	Rd,Rr	Сравнить	Rd -Rr	Z,C,N,V,H,S	1
CPC	Rd,Rr	Сравнить с переносом	Rd - Rr - C	Z,C,N,V,H,S	1
CPI	Rd,K8	Сравнить с константой	Rd - K	Z,C,N,V,H,S	1
SBRC	Rr,b	Пропустить, если бит в регистре очищен	if(Rr(b)==0) PC = PC + 2 or 3	Нет	1/2/3
SBRS	Rr,b	Пропустить, если бит в регистре установлен	if(Rr(b)==1) PC = PC + 2 or 3	Нет	1/2/3
SBIC	P,b	Пропустить, если бит в порту очищен	if(I/O(P,b)==0) PC = PC + 2 or 3	Нет	1/2/3
SBIS	P,b	Пропустить если бит в порту установлен	if(I/O(P,b)==1) PC = PC + 2 or 3	Нет	1/2/3
BRBC	s,k	Перейти, если флаг в SREG очищен	if(SREG(s)==0) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRBS	s,k	Перейти, если флаг в SREG установлен	if(SREG(s)==1) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BREQ	k	Перейти, если равно	if(Z==1) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRNE	k	Перейти, если не равно	if(Z==0) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRCS	k	Перейти, если перенос установлен	if(C==1) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRCC	k	Перейти, если перенос очищен	if(C==0) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRSH	k	Перейти, если равно или больше	if(C==0) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRLO	k	Перейти, если меньше	if(C==1) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRMI	k	Перейти, если минус	if(N==1) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRPL	k	Перейти, если плюс	if(N==0) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRGE	k	Перейти, если больше или равно (со знаком)	if(S==0) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRLT	k	Перейти, если меньше (со знаком)	if(S==1) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRHS	k	Перейти, если флаг внутреннего переноса установлен	if(H==1) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRHC	k	Перейти, если флаг внутреннего переноса очищен	if(H==0) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRTS	k	Перейти, если флаг Т установлен	if(T==1) $PC = PC + k + 1$	Нет	1/2

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
BRTC	K	Перейти, если флаг Т очищен	if(T==0) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRVS	l K	Перейти, если флаг переполнения установлен	if(V==1) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRVC	K	Перейти, если флаг переполнения очищен	if(V==0) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRIE	K	Перейти, если прерывания разрешены	if(I==1) PC = PC + k + 1	Нет	1/2
BRID	K	Перейти, если прерывания запрещены	if(I==0) PC = PC + k + 1	Нет	1/2

Для операций доступа к данным количество циклов указано при условии доступа к внутренней памяти данных и не корректно при работе с внешним оперативным запоминающим устройством (ОЗУ). Для инструкций CALL, ICALL, EICALL, RCALL, RET и RETI необходимо добавить три цикла плюс по два цикла для каждого ожидания при использовании МК с памятью программ менее 128 Кб. Для МК с памятью программ более 128 Кб добавьте пять циклов плюс по три цикла на каждое ожидание.

Инструкции передачи данных

Таблица 4

Мнемо- ника	Опе- ранды	Описание	Операция	Флаги	Циклы
1	2	3	4	5	6
MOV	Rd,Rr	Скопировать регистр	Rd = Rr	Нет	1
MOVW	Rd,Rr	Скопировать пару регистров	Rd+1:Rd = Rr+1:Rr, r,d - четн.	Нет	1
LDI	Rd,K8	Загрузить константу	Rd = K8	Нет	1
LDS	Rd,k	Прямая загрузка	Rd = (k)	Нет	2*
LD	Rd,X	Косвенная загрузка	Rd = (X)	Нет	2*
LD	Rd,X+	Косвенная загрузка с постинкрементом	Rd = (X), X = X + 1	Нет	2*
LD	Rd,-X	Косвенная загрузка с предекрементом	X=X-1, Rd = (X)	Нет	2*
LD	Rd,Y	Косвенная загрузка	Rd = (Y)	Нет	2*
LD	Rd,Y+	Косвенная загрузка с постинкрементом	Rd = (Y), Y=Y+1	Нет	2*
LD	Rd,-Y	Косвенная загрузка с предекрементом	Y=Y-1, Rd = (Y)	Нет	2*
LDD	Rd,Y+q	Косвенная загрузка с замещением	Rd = (Y+q)	Нет	2*

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6
LD	Rd,Z	Косвенная загрузка	Rd = (Z)	Нет	2*
LD	Rd,Z+	Косвенная загрузка с постинкрементом	Rd = (Z), Z = Z + 1	Нет	_
LD	Rd,-Z	Косвенная загрузка с предекрементом	Z=Z-1, Rd = (Z)	Нет	2*
LDD	Rd,Z+q	Косвенная загрузка с замещением	Rd = (Z+q)	Нет	
STS	k,Rr	Прямое сохранение	(k) = Rr	Нет	2*
ST	X,Rr	Косвенное сохранение	(X) = Rr	Нет	2*
ST	X+,Rr	Косвенное сохранение с постинкрементом	(X) = Rr, X = X + 1	Нет	2*
ST	-X,Rr	Косвенное сохранение с предекрементом	X=X-1, (X)=Rr	Нет	2*
ST	Y,Rr	Косвенное сохранение	(Y) = Rr	Нет	2*
ST	Y+,Rr	Косвенное сохранение с постинкрементом	(Y) = Rr, Y = Y + 1	Нет	2
ST	-Y,Rr	Косвенное сохранение с предекрементом	Y=Y-1, (Y) = Rr	Нет	2
ST	Y+q,Rr	Косвенное сохранение с замещением	(Y+q) = Rr	Нет	2
ST	Z,Rr	Косвенное сохранение	(Z) = Rr	Нет	2
ST	Z+,Rr	Косвенное сохранение с постинкрементом	(Z) = Rr, Z=Z+1	Нет	2
ST	-Z,Rr	Косвенное сохранение с предекрементом	Z=Z-1, (Z) = Rr	Нет	2
ST	Z+q,Rr	Косвенное сохранение с замещением	(Z+q) = Rr	Нет	2
LPM	Нет	Загрузка из программной памяти	R0 = (Z)	Нет	3
LPM	Rd,Z	Загрузка из программной памяти	Rd = (Z)	Нет	3
LPM	Rd,Z+	Загрузка из программной памяти с постинкрементом	Rd = (Z), Z=Z+1	Нет	3
ELPM	Нет	Расширенная загрузка из программной памяти	R0 = (RAMPZ:Z)	Нет	3
ELPM	Rd,Z	Расширенная загрузка из программной памяти	Rd = (RAMPZ:Z)	Нет	
ELPM	Rd,Z+	Расширенная загрузка из программной памяти с постинкрементом	Rd = (RAMPZ:Z), Z = Z+1	Нет	3
SPM	Нет	Сохранение в программной памяти	(Z) = R1:R0	Нет	-
ESPM	Нет	Расширенное сохранение в программной памяти	(RAMPZ:Z) = R1:R0	Нет	_
IN	Rd,P	Чтение порта	Rd = P	Нет	1
OUT	P,Rr	Запись в порт	P = Rr	Нет	1
PUSH	Rr	Занесение регистра в стек	STACK = Rr	Нет	2
POP	Rd	Извлечение регистра из стека	Rd = STACK	Нет	2

Для операций доступа к данным количество циклов указано при условии доступа к внутренней памяти данных и не корректно при работе с внешним ОЗУ. Для инструкций LD, ST, LDD, STD, LDS, STS, PUSH и POP

необходимо добавить один цикл плюс по одному циклу для каждого ожидания.

Инструкции работы с битами

Таблица 5

Мнемо- ника	Опе- ранды	Описание	Операция	Флаги	Цик- лы
1	2	3	4	5	6
LSL	Rd	Логический сдвиг влево	Rd(n+1)=Rd(n), Rd(0)=0, C=Rd(7)	Z,C,N, V,H,S	1
LSR	Rd	Логический сдвиг вправо	Rd(n)=Rd(n+1), Rd(7)=0, C=Rd(0)	Z,C,N, V,S	1
ROL	Rd	Циклический сдвиг влево через флаг переноса С	Rd(0)=C, Rd(n+1)=Rd(n), C=Rd(7)	Z,C,N, V,H,S	1
ROR	Rd	Циклический сдвиг вправо через C	Rd(7)=C, Rd(n) = Rd(n+1), C=Rd(0)	Z,C,N, V,S	1
ASR	Rd	Арифметический сдвиг вправо	Rd(n)=Rd(n+1), n=0,,6	Z,C,N, V,S	1
SWAP	Rd	Перестановка половин байта	Rd(30) = Rd(74), Rd(74) = Rd(30)	Нет	1
BSET	S	Установка флага	SREG(s) = 1	SREG (s)	1
BCLR	S	Очистка флага	SREG(s) = 0	SREG (s)	1
SBI	P,b	Установить бит в порту	I/O(P,b) = 1	Нет	2
CBI	P,b	Очистить бит в порту	I/O(P,b) = 0	Нет	2
BST	Rr,b	Сохранить бит из регистра в Т	T = Rr(b)	Т	1
BLD	Rd,b	Загрузить бит из Т в регистр	Rd(b) = T	Нет	1
SEC	Нет	Установить флаг переноса	C =1	C	1
CLC	Нет	Очистить флаг переноса	C = 0	С	1
SEN	Нет	Установить флаг отрицательного числа	N = 1	N	1
CLN	Нет	Очистить флаг отрицательного числа	N = 0	N	1
SEZ	Нет	Установить флаг нуля	Z = 1	Z	1
CLZ	Нет	Очистить флаг нуля	Z = 0	Z	1
SEI	Нет	Установить флаг прерываний	I = 1	I	1
CLI	Нет	Очистить флаг прерываний	I = 0	I	1
SES	Нет	Установить флаг числа со знаком	S = 1	S	1
CLN	Нет	Очистить флаг числа со знаком	S = 0	S	1
SEV	Нет	Установить флаг переполнения	V = 1	V	1

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6
CLV	Нет	Очистить флаг переполнения	V = 0	V	1
SET	Нет	Установить флаг Т	T = 1	Т	1
CLT	Нет	Очистить флаг Т	T = 0	Т	1
SEH	Нет	Установить флаг внутреннего переноса	H = 1	Н	1
CLH	Нет	Очистить флаг внутреннего переноса	H = 0	Н	1
NOP	Нет	Нет операции	Нет	Нет	1
SLEEP	Нет	Спать (уменьшить энергопотребление)	Смотрите описание инструкции	Нет	1
WDR	Нет	Сброс сторожевого таймера	Смотрите описание инструкции	Нет	1

Oбозначения в табл. 2-5:

Rd, Rr – регистры в регистровом файле;

К6 – константа (6 бит), может быть константное выражение;

К8 – константа (8 бит), может быть константное выражение;

k – константа (размер зависит от инструкции), может быть константное выражение;

q – константа (6 бит), может быть константное выражение;

Rdh:Rdl – регистровые пары (R25:R24, R27:R26, R29:R28, R31:R30) в инструкциях ADIW и SBIW;

X, Y, Z – регистры косвенной адресации (X=R27:R26, Y=R29:R28, Z=R31:R30).

# 2.2. Выражения

Компилятор позволяет использовать в программе выражения, которые могут состоять из операндов, операторов и функций. Все выражения являются 32-битными в AVRASM и 64-битными в AVRASM2.

# 2.2.1. Операнды

Могут быть использованы следующие операнды:

- Метки, определённые пользователем (дают значение своего положения).
  - Переменные, определённые директивой SET.
  - Константы, определённые директивой EQU.
  - Числа, заданные в формате:
    - о десятичном (принят по умолчанию): 10, 255;
    - о шестнадцатеричном (два варианта записи): 0x0a, \$0a, 0xff, \$ff;

- о двоичном: 0b00001010, 0b11111111;
- о восьмеричном (начинаются с нуля): 010, 077.
- •Константы с плавающей точкой.
- •PC текущее значение программного счётчика (PC Programm Counter).

Препроцессор AVRASM2 распознает все форматы целых чисел, в том числе \$abcd и 0b011001 признаются препроцессором и могут быть использованы в выражениях в директивах #if.

# 2.2.2. Операторы

Ассемблер поддерживает ряд операторов, которые перечислены в табл. 6 (чем выше положение в таблице, тем выше приоритет оператора). Выражения могут заключаться в круглые скобки, такие выражения вычисляются перед выражениями за скобками.

Операторы

Таблица 6

Прио- ритет	Сим-	Описание	Пример
1	2	3	4
14	!	Логическое отрицание возвращает 1, если выражение равно 0, и наоборот	ldi r16, !0xf0 ; В r16 загрузить 0x00
14	~	Побитное отрицание возвращает выражение, в котором все биты проинвертированы	ldi r16, ~0xf0 ; В r16 загрузить 0x0f
14	-	Минус возвращает арифметическое отрицание выражения (унитарный минус)	ldi r16,-2 ; Загрузить -2 (0xfe) в r16
13	*	Умножение возвращает результат умножения двух выражений	ldi r30, label*2
13	/	Деление возвращает целую часть результата деления левого выражения на правое	ldi r30, label/2
13	%	Деление по модулю	ldi r30,label%2 ; label делится по модулю 2
12	+	Суммирование возвращает сумму двух выражений	ldi r30, c1+c2
12	-	Вычитание возвращает результат вычитания правого выражения из левого	ldi r17, c1-c2
11	<<	Сдвиг влево возвращает левое выражение, сдвинутое влево на число бит, указанное справа	ldi r17, 1< <bit ; В r17 загрузить 1, сдвинутую влево bit раз</bit 
11	>>	Сдвиг вправо возвращает левое выражение, сдвинутое вправо на число бит, указанное справа	ldi r17, c1>>c2 ;В r17 загрузить c1, сдвинутое вправо c2 раз

#### Окончание табл. 6

1	2	3	4
10	<	Меньше чем возвращает 1, если левое выражение меньше, чем правое (учитывается знак), и 0 в противном случае	ori r18, bitmask*(c1 <c2)+1< td=""></c2)+1<>
10	<=	Меньше или равно: возвращает 1, если левое выражение равно или меньше, чем правое, (учитывается знак), и 0 в противном случае	ori r18, bitmask*(c1<=c2)+1
10	>	Больше чем возвращает 1, если левое выражение больше, чем правое (учитывается знак), и 0 в противном случае	ori r18, bitmask*(c1>c2)+1
10	>=	Больше или равно возвращает 1, если левое выражение равно или больше, чем правое (учитывается знак), и 0 в противном случае	ori r18, bitmask*(c1>=c2)+1
9	==	Равно возвращает 1, если левое выражение равно правому (учитывается знак), и 0 в противном случае	andi r19, bitmask*(c1==c2)+1
9	!=	Не равно возвращает 1, если левое выражение не равно правому (учитывается знак), и 0 в противном случае	SET flag = (c1!=c2) ;Установить flag равным 1 или 0
8	&	Побитное И возвращает результат побитового И выражений	ldi r18, High(c1&c2)
7	^	Побитное исключающее ИЛИ возвращает результат побитового исключающего ИЛИ выражений	ldi r18, Low(c1^c2)
6		Побитное ИЛИ возвращает результат побитового ИЛИ выражений	ldi r18, Low(c1 c2)
5	&&	Логическое И возвращает 1, если оба выражения не равны нулю, и 0 в противном случае	ldi r18, Low(c1&&c2)
4		Логическое ИЛИ возвращает 1, если хотя бы одно выражение не равно нулю, и 0 в противном случае	ldi r18, Low(c1  c2)
3	?	Условный оператор <i>Синтаксис:</i> Условие? выражение1: выражение 2	ldi r18, > b? a : b ; Загрузка в r18 большего числа из двух чисел а и b

# 2.2.3. Функции

В Ассемблере определены следующие функции:

LOW(выражение) – возвращает младший байт выражения;

HIGH(выражение) – возвращает второй байт выражения;

BYTE2(выражение) - то же, что и функция HIGH;

ВҮТЕЗ(выражение) – возвращает третий байт выражения;

ВҮТЕ4(выражение) – возвращает четвёртый байт выражения;

LWRD(выражение) – возвращает биты 0-15 выражения;

HWRD(выражение) – возвращает биты 16-31 выражения;

РАGE(выражение) – возвращает биты 16-21 выражения;

ЕХР2(выражение) — возвращает 2 в степени (выражение);

LOG2(выражение) – возвращает целую часть log2(выражение).

Следующие функции определены только в AVRASM2:

INT (выражение) — преобразовывает выражение с плавающей точкой в целое (т.е. отбрасывает дробную часть);

FRAC(выражение) — выделяет дробную часть выражения с плавающей точкой (т.е. отбрасывает целую часть);

Q7(выражение) – преобразовывает выражение с плавающей точкой в форму пригодную для инструкций FMUL/FMULSU (знак + 7-битовая дробная часть);

Q15(выражение) — преобразовывает выражение с плавающей точкой в форму пригодную для инструкций FMUL/FMULS/FMULSU (знак + 15-битовая дробная часть);

ABS() – возвращает бсолютную величину постоянного выражения;

DEFINED(символ) – возвращает «истина», если символ прежде определен Обычно директивами .set или .def. .equ, используется директивами if (.if вместе c defined(foo)), но может быть использовано в любом контексте. отличие других функций ОТ DEFINED(символ) требует наличия круглых скобок вокруг своего аргумента.

Ассемблер AVRASM2 различает регистр символов (AVRASM не различает).

# 3. ДИРЕКТИВЫ

Компилятор поддерживает ряд директив. Директивы не транслируются непосредственно в код. Они обрабатываются препроцессором и используются для указания положения в программной памяти, определения макросов, инициализации памяти и т.д.

# 3.1. Директивы AVRASM

Список директив AVRASM приведён в табл. 7. Директивы AVRASM и AVRASM2 версии 2.1.9 предваряются точкой. Директивы AVRASM2 версии ниже 2.1.9 предваряются #.

Таблица 7

#### Директивы AVRASM

Директива	Описание		
.BYTE	Зарезервировать байты в ОЗУ		
.CSEG	Программный сегмент		
.CSEGSIZE	Определяет размер памяти программ		
.DB	Определить байты во FLASH или EEPROM		
.DEF	Назначить регистру символическое имя		
.DEVICE	Определить устройство, для которого компилируется программа		
.DSEG	Сегмент данных		
.DW	Определить слова во FLASH или EEPROM		
.ENDM, .ENDMACRO	Конец макроса		
.EQU	Установить постоянное выражение		
.ESEG	Сегмент EEPROM		
.EXIT	Выйти из файла		
.INCLUDE	Вложить другой файл		
.LIST	Включить генерацию листинга		
.LISTMAC	Включить разворачивание макросов в листинге		
.MACRO	Начало макроса		
.NOLIST	Выключить генерацию листинга		
.ORG	Установить положение в сегменте		
.SET	Установить переменный символический эквивалент выражения		

Ниже приводится подробное описание директив.

# .ВҮТЕ – зарезервировать байты в ОЗУ

Директива ВҮТЕ резервирует байты в ОЗУ. Если вы хотите иметь возможность ссылаться на выделенную область памяти, то директива ВҮТЕ должна быть предварена меткой. Директива принимает один обязательный параметр, который указывает количество выделяемых байт. Эта директива может использоваться только в сегменте данных (смотреть директивы CSEG и DSEG). Выделенные байты не инициализируются.

Синтаксис:

МЕТКА: .ВҮТЕ выражение

Пример:

.DSEG

; Резервирует 1 байт для var1. var1: .BYTE 1 table: .BYTE tab size ; Резервирует tab size байт.

.CSEG

```
ldi r30,low(var1) ; Загружает младший байт регистра Z. ldi r31,high(var1) ; Загружает старший байт регистра Z. ld r1,Z ; Загружает VAR1 в регистр 1.
```

#### .CSEG – программный сегмент

Директива CSEG определяет начало программного сегмента. Исходный файл может состоять из нескольких программных сегментов, которые объединяются в один программный сегмент при компиляции. Программный сегмент является сегментом по умолчанию. Программные сегменты имеют свои собственные счётчики положения, которые считают не побайтно, а пословно. Директива ORG может быть использована для размещения кода и констант в необходимом месте сегмента. Директива CSEG не имеет параметров.

Синтаксис:

.CSEG

Пример:

.DSEG ; Начало сегмента данных.

vartab: .BYTE 4 ; Резервирует 4 байта в ОЗУ.

.CSEG ; Начало кодового сегмента.

const: .DW 2 ; Разместить константу 0x0002 в памяти программ.

mov r1,r0 ; Выполнить действия.

#### .CSEGSIZE – размер памяти программ

Устройства АТ94К имеют раздел памяти, которую пользователь может присоединить к памяти программ AVR или памяти данных. Программа и данные SRAM подразделены на три блока: 10К х 16 память программ, 4К х 8 память данных и 6К х 16 или 12К х 8 перестраиваемой SRAM, которые могут быть распределены между программной памятью (до 4-х разделов по 2К х 16) и памятью данных (до 8-ми разделов по 4Кх8).

Эта директива используется, чтобы определять размер программного блока памяти.

Синтаксис:

 $.CSEGSIZE = 10 \mid 12 \mid 14 \mid 16$ 

Пример:

.CSEGSIZE = 12 ; Определить размер памяти программ как 12K x 16.

# .DB – определить байты во флэш-памяти или EEPROM

Директива DB резервирует необходимое количество байт в памяти программ или в EEPROM. Если вы хотите иметь возможность ссылаться на выделенную область памяти, то директива DB должна быть предварена меткой. Директива DB должна иметь хотя бы один параметр. Данная

директива может быть размещена только в сегменте программ (CSEG) или в сегменте EEPROM (ESEG).

Параметры, передаваемые директиве, — это последовательность выражений, разделённых запятыми. Каждое выражение должно быть или числом в диапазоне (-128...255), или в результате вычисления должно давать результат в этом же диапазоне, в противном случае число усекается до байта, причём **без** выдачи предупреждений.

Если директива получает более одного параметра и текущим является программный сегмент, то параметры упаковываются в слова (первый параметр – младший байт), и если число параметров нечётно, то последнее выражение будет усечено до байта и записано как слово со старшим байтом, равным нулю, даже если далее идет ещё одна директива DB.

Синтаксис:

METKA: .DB список выражений

Пример:

.CSEG

consts: .DB 0, 255, 0b01010101, -128, 0xaa

.ESEG

const2: .DB 1,2,3.

# .DEF – назначить регистру символическое имя

Директива DEF позволяет ссылаться на регистр через некоторое символическое имя. Назначенное имя может использоваться во всей нижеследующей части программы для обращений к данному регистру. Регистр может иметь несколько различных имен. Символическое имя может быть переназначено позднее в программе.

Синтаксис:

.DEF Символическое имя = Регистр

Пример:

.DEF temp=R16

.DEF ior=R0

.CSEG

ldi temp,0xf0; Загрузить 0xf0 в регистр temp (R16).

in ior,0x3f ; Прочитать SREG в регистр ior (R0).

eor temp,ior; Регистры temp и ior складываются по исключающему ИЛИ.

# .DEVICE – определить устройство, для которого компилируется программа

Директива DEVICE позволяет указать, для какого устройства компилируется программа. При использовании данной директивы компилятор выдаст предупреждение, если будет найдена инструкция, которую не поддерживает данный микроконтроллер. Также будет выдано

предупреждение, если программный сегмент либо сегмент EEPROM превысят размер, допускаемый устройством. Если же директива не используется, то все инструкции считаются допустимыми и отсутствуют ограничения на размер сегментов.

Синтаксис:

.DEVICE <код устройства>

Кодом устройства могут быть: AT90S1200 |AT90S2313 | AT90S2323 |

AT90S2333 | AT90S2343 | AT90S4414 | AT90S4433 | AT90S4434 |

AT90S8515 | AT90S8534 | AT90S8535 | ATtiny11 | ATtiny12 | ATtiny22 |

ATmega163 | ATmega103 AT90CAN128 | AT86RF401 | AT94K ит.д.

Пример:

.DEVICE AT90S1200 ; Используется AT90S1200

.CSEG

push r30 ; Эта инструкция вызовет предупреждение, поскольку

: AT90S1200 её не имеет.

Примечание:

Директива .DEVICE больше не используется в AVRASM2. Она заменена множеством директив #pragma, описывающих свойства устройства. В AVRASM2 директива .device эквивалентна #pragma AVRPART PART\_NAME.

#### .DSEG – сегмент данных

Директива DSEG определяет начало сегмента данных. Исходный файл может состоять из нескольких сегментов данных, которые объединяются в один сегмент при компиляции. Сегмент данных обычно состоит только из директив ВYTE и меток. Сегменты данных имеют свои собственные побайтные счётчики положения. Директива ORG может быть использована для размещения переменных в необходимом месте ОЗУ. Директива не имеет параметров.

Синтаксис:

.DSEG

Пример:

.DSEG ; Начало сегмента данных.

var1: .BYTE 1 ; Зарезервировать 1 байт для var1.

table: .BYTE tab size ; Зарезервировать tab size байт.

.CSEG

ldi r30,low(var1) ; Загрузить младший байт регистра Z. ldi r31,high(var1) ; Загрузить старший байт регистра Z.

ld r1,Z ; Загрузить var1 в регистр r1.

# .DW - определить слова во флэш или EEPROM

Директива DW резервирует необходимое количество слов в памяти программ или в EEPROM. Если вы хотите иметь возможность ссылаться на выделенную область памяти, то директива DW должна быть предварена меткой. Директива DW должна иметь хотя бы один параметр. Данная директива может быть размещена только в сегменте программ (CSEG) или в сегменте EEPROM (ESEG).

Параметры, передаваемые директиве, — это последовательность выражений, разделённых запятыми. Каждое выражение должно быть или числом в диапазоне (-32768...65535), или в результате вычисления должно давать результат в этом же диапазоне, в противном случае число усекается до слова, причем БЕЗ выдачи предупреждений.

Синтаксис:

METKA: .DW список выражений

Пример:

.CSEG

varlist: .DW 0, 0xffff, 0b1001110001010101, -32768, 65535

.ESEG

eevarlst: .DW 0,0xffff,10

#### .ENDM

# .ENDMACRO – конец макроса

Директива определяет конец макроопределения и не принимает никаких параметров. Для информации по определению макросов смотрите директиву MACRO.

Синтаксис:

.ENDMACRO

.ENDM

Пример:

.MACRO SUBI16 ; Начало определения макроса.

subi r16,low(@0) ; Вычесть младший байт первого параметра. sbci r17,high(@0) ; Вычесть старший байт первого параметра.

.ENDMACRO

# .EQU – установить постоянное выражение

Директива EQU присваивает метке значение. Эта метка может позднее использоваться в выражениях. Метка, которой присвоено значение данной директивой, не может быть переназначена и её значение не может быть изменено.

Синтаксис:

.EQU метка = выражение

```
Пример:
.EQU io_offset = 0x23
.EQU porta = io_offset + 2
.CSEG ; Начало сегмента данных.
clr r2 ; Очистить регистр r2.
out porta,r2 ; Записать в порт A.
```

#### .ESEG – cerment EEPROM

Директива ESEG определяет начало сегмента EEPROM. Исходный файл может состоять из нескольких сегментов EEPROM, которые объединяются в один сегмент при компиляции. Сегмент EEPROM обычно состоит только из директив DB, DW и меток. Сегменты EEPROM имеют свои собственные побайтные счётчики положения. Директива ORG может быть использована для размещения переменных в необходимом месте EEPROM. Директива не имеет параметров.

```
Синтаксис:
.ESEG
Пример:
.DSEG ; Начало сегмента данных.
var1: .BYTE 1 ; Зарезервировать 1 байт для var1.
table: .BYTE tab_size ; Зарезервировать tab_size байт.
.ESEG
eevar1: .DW 0xffff ; Проинициализировать 1 слово в EEPROM.
```

#### .EXIT – выйти из файла

Встретив директиву EXIT, компилятор прекращает компиляцию данного файла. Если директива использована во вложенном файле (см. директиву INCLUDE), то компиляция продолжается со строки, следующей после директивы INCLUDE. Если же файл не является вложенным, то компиляция прекращается.

```
Синтаксис:
.EXIT
Пример:
.EXIT ; Выйти из данного файла.
```

# .INCLUDE – вложить другой файл

Встретив директиву INCLUDE, компилятор открывает указанный в ней файл, компилирует, его пока файл не закончится или не встретится директива EXIT, после этого продолжает компиляцию начального файла со строки, следующей за директивой INCLUDE. Вложенный файл может также содержать директивы INCLUDE.

```
Синтаксис:
    .INCLUDE "имя файла"
    Пример:
    ; файл iodefs.asm:
.EQU sreg = 0x3f
                    ; Регистр статуса.
.EQU sphigh = 0x3e
                     ; Старший байт указателя стека.
.EQU \text{ splow } = 0x3d
                     ; Младший байт указателя стека.
    ; файл incdemo.asm
.INCLUDE iodefs.asm ; Вложить файл.
    in r0, sreg
               ; Прочитать регистр статуса.
```

# .LIST – включить генерацию листинга

Директива LIST указывает компилятору на необходимость создания листинга. Листинг представляет из себя комбинацию ассемблерного кода, адресов и кодов операций. По умолчанию генерация листинга включена, однако данная директива используется совместно с директивой NOLIST для получения листингов отдельных частей исходных файлов.

Синтаксис:

.LIST

Пример:

.NOLIST ; Отключить генерацию листинга. .INCLUDE "macro.inc" ; Вложенные файлы не будут .INCLUDE "const.def" ; отображены в листинге .LIST ; Включить генерацию листинга.

#### .LISTMAC – включить разворачивание макросов в листинге

После директивы LISTMAC компилятор будет показывать в листинге содержимое макроса. По умолчанию в листинге показываются только вызов макроса и передаваемые параметры.

Синтаксис:

.LISTMAC

Пример:

.MACRO MACX ; Определение макроса.

; Тело макроса. add r0,@0

eor  $r1.\omega 1$ 

.ENDMACRO ; Конец макроопределения.

; Включить разворачивание макросов. .LISTMAC

MACX r2,r1; Вызов макроса (в листинге будет показано тело макроса).

# .MACRO – начало макроса

С директивы MACRO начинается определение макроса. *Макрос* (макроопределение) микропрограмма, состоящая ЭТО ИЗ последовательности операторов, которые несколько раз встречаются в тексте программы. Эта последовательность операторов включается в тело макроса. Кроме этого, макрос имеет заголовок, состоящий из имени и списка параметров, и окончание. После того как макрос определен, повторяющиеся участки кода в тексте программы заменяются на его имя. Это сокращает текст программы. При встрече имени макроса позднее в тексте программы компилятор заменит его имя на операторы из тела макроса. Таким образом, исполнение макроса заключается в его «расширении».

Макрос в AVRASM может иметь до 10 параметров, к которым в его теле обращаются через @0 - @9. Макрос в AVRASM2 может иметь неограниченное число параметров.

При вызове параметры перечисляются через запятые. Определение макроса заканчивается директивой ENDMACRO.

По умолчанию в листинг включается только вызов макроса, для разворачивания макроса необходимо использовать директиву LISTMAC. Макрос в листинге показывается знаком +.

Синтаксис:

.MACRO имя макроса

Пример:

.MACRO SUBI16 ; Начало макроопределения.

subi @1,low(@0) ; Вычесть младший байт параметра 0 из параметра 1. sbci @2,high(@0) ; Вычесть старший байт параметра 0 из параметра 2.

.ENDMACRO ; Конец макроопределения.

.CSEG ; Начало программного сегмента.

SUBI16 0x1234,r16,r17 ; Вычесть 0x1234 из r17:r16.

#### .NOLIST – выключить генерацию листинга

Директива NOLIST указывает компилятору на необходимость прекращения генерации листинга. Листинг представляет собой комбинацию ассемблерного кода, адресов и кодов операций. умолчанию генерация листинга включена, однако может быть отключена данной директивой. Кроме того, данная директива может быть использована совместно с директивой LIST для получения листингов отдельных частей исходных файлов.

Синтаксис:

.NOLIST

Пример:

.NOLIST ; Отключить генерацию листинга. .INCLUDE "macro.inc" ; Вложенные файлы не будут. .INCLUDE "const.def" ; отображены в листинге.

.LIST ; Включить генерацию листинга.

# .ORG – установить положение в сегменте

Директива ORG устанавливает счётчик положения равным заданной величине, которая передаётся как параметр. Для сегмента данных она устанавливает счётчик положения в SRAM (O3У), для сегмента программ это программный счётчик, а для сегмента EEPROM это положение в EEPROM. Если директиве предшествует метка (в той же строке), то метка размещается по адресу, указанному в параметре директивы. Перед началом компиляции программный счётчик и счётчик EEPROM равны нулю, а счётчик ОЗУ равен 32 (поскольку адреса 0 – 31 заняты регистрами). Обратите внимание, что для ОЗУ и EEPROM используются побайтные счётчики, а для программного сегмента – пословный.

```
Синтаксис:
.ORG выражение
Пример:
.DSEG ; Начало сегмента данных.
.ORG 0x37 ; Установить адрес SRAM равным 0x37.
variable: .BYTE 1 ; Зарезервировать байт по адресу 0x37H.
.CSEG
.ORG 0x10 ; Установить программный счётчик равным 0x10.
mov r0,r1 ; Данная команда будет размещена по адресу 0x10.
```

# .SET – присвоить переменный значение выражения

Директива SET присваивает имени некоторое значение. Это имя позднее может быть использовано в выражениях. Причем в отличие от директивы EQU значение имени может быть изменено другой директивой SET.

```
Синтаксис:
    .SET имя = выражение
    Примеры:
    1)
SET io offset = 0x23
.SET porta = io offset + 2
.CSEG
                ; Начало кодового сегмента.
                ; Очистить регистр 2.
    clr r2
    out porta,r2 ; Записать в порт A.
.SET FOO = 0x114
                      ; set FOO to point to an SRAM location,
    lds r0, FOO
                      ; load location into r0,
.SET FOO = FOO + 1; increment (redefine) FOO.
                      This would be illegal if using .EQU.
                      ; Load next location into r1.
    lds r1, FOO
```

# 3.2. Директивы AVRASM2

В Ассемблере до версии 2.1.9 директивы AVRASM2 начинаются с #:

#define #if #pragma #elif #ifdef #undef #else #ifndef #warning

#endif #include # (пустая директива)

#error #message

В Ассемблере версии 2.1.9 директивы начинаются с точки, также как и директивы AVRASM (табл. 8).

Директивы AVRASM2 версии 2.1.9

Таблица 8

Директива	Описание
.DD	Определение двойного слова
.DQ	Определение четверного слова
.IF, .IFDEF, .IFNDEF	Условное ассемблирование
.ELSE, .ELIF	Условное ассемблирование
.ENDIF	Условное ассемблирование
.ERROR	Вывод сообщения об ошибке
.MESSAGE	Вывод строки сообщения
.OVERLAP/NOOVERLAP	Установка перекрытия секции
.UNDEF	Отмена определения символьного имени регистра
.WARNING	Вывод строки сообщения

# .DD – определяет двойное слово(а) в памяти программ и EEPROM.

# .DQ – определяет четверное слово(а) в памяти программ и EEPROM.

Эти директивы подобно директиве .DW определяют нужное количество слов 32-битных (двойные слова) и 64-битных (четверные слова) соответственно.

Синтаксис:

МЕТКА: .DD список выражений МЕТКА: .DQ список выражений

Пример: .CSEG

varlist: .DD 0, 0xfadebabe, -2147483648, 1 << 30

.ESEG

eevarlst: .DQ 0,0xfadebabedeadbeef, 1 << 62

# #define – определить макрос препроцессора

Синтаксис:

- 1) #define *имя* [value]
- 2) #define *имя*(arg.,...) [value]

Описание:

Определяет макрос препроцессора. Есть две формы макроса: (1) – объект, который в основном определяет константу, и (2) – функция, в которую делают подстановку параметра.

Value — величина (значение) может быть любой строкой, она не определена, пока макрос не будет распакован (расширен). Если величина не определена, она = 1.

Форма (1) макроса может быть определена из командной строки использованием опции -D.

Когда использована форма (2), макрос должен вызываться с тем же количеством аргументов, с которыми он определен. Любые arg. и value будут заменены соответствующими аргументами и значениями, когда макрос расширяется. Отметьте, что левые скобки должны идти сразу после имени (никаких пробелов между ними), в противном случае это будет интерпретировано как часть величины макроса формы (1).

Примеры:

Обратите внимание на размещение первой скобки '(' в примерах, приведенных ниже.

```
#define EIGHT (1 << 3)
#define SQR(X) ((X)*(X))
```

# .UNDEF – отменить определение символьного имени регистра

Описание:

Отмена определения *имени*, которое прежде определялось директивой .DEF или #define. Это позволит избежать сообщений об ошибке при многократном использовании регистра. Если *имя* прежде не определено, директива .undef будет проигнорирована, это в соответствии со стандартом ANSI C. То же можно сделать из командной строки, используя опцию -U.

Синтаксис:

.UNDEF символ

Пример:

.DEF var1 = R16

ldi var1, 0x20

...; сделает что-то с использованием var1.

.UNDEF var1

.DEF var2 = R16 ; теперь использование R16 не будет вызывать предупреждения.

# #ifdef или .IFDEF – директива условной компиляции

Синтаксис:

#ifdef имя

Описание:

Сокращение от #if defined. Все следующие строки до соответствующего #endif, #else или #elif условно ассемблируются, если *имя* определено прежде.

```
Пример:
#ifdef FOO
..... // делает что-то.
#endif
```

# #ifndef – директива условной компиляции

Синтаксис:

#ifndef имя

Описание:

Сокращенная запись от #if not defined. Противоположность #ifdef. Все следующее строки до соответствующих #endif, #else или #elif условно ассемблируются, если имя не определено.

#### #if

#### #elif - директивы условной компиляции

Синтаксис:

#if условие

#elif

Описание:

Все следующие строки до соответствующего #endif, #else или #elif условно ассемблируются, если условие является истиной (не равно 0). Условие — любое целое выражение, включая макросы препроцессора, которые расширены (распакованы). Препроцессор распознает оператор defined(name), который возвращает 1, если имя определено, и 0 — в противном случае. Любые не определенные символы, использованные в условии по умолчанию, = 0.

Условие может быть вложенным на произвольную глубину.

#elif оценивает *условие* так же, как #if, за исключением того, что только что оценено, и если никакой предшествующей ветвлению командой #if ... #elif данное условие не было оценено как истина.

```
Примеры:
#if 0
......// Здесь код никогда не компилируется.
#endif
#if defined( ATmega48 ) || defined( ATmega88 )
```

```
...... // код специфичный для этих устройств. #elif defined (__ATmega169__) ...... // код специфичный для ATmega169. #endif
```

Препроцессор AVRASM2 не делает отдельный проход до вызова Ассемблера, он встроенная часть Ассемблера. Это может вызвать некоторую неразбериху, если препроцессор и Ассемблер создают аналогичные разнотипные объекты (например, #if u .if условия). Это также вызывает сбои препроцессора при использовании условий в макросах Ассемблера, которые нужно оценивать, когда макрос распакован, а не когда он определен. Условные выражения не могут распределять начало или конец макроопределения (но могут распределить целое макроопределение, включая начало и окончание).

# .ENDIF – директива условного ассемблирования

Завершает условный блок кода после директив .IF, .IFDEF или .IFNDEF. Условные блоки (.IF...ELIF... .ELSE...ENDIF) могут быть вложенными, но все они должны быть выполнены до конца файла (условные блоки не могут работать в нескольких файлах).

Синтаксис:

ENDIF

.IFDEF < символ > |.IFNDEF < символ >

# .ELIF, .ELSE- директивы условного ассемблирования

.ELIF включит в процесс ассемблирования код, следующий за ELIF, до соответствующего ENDIF или следующего ELIF, если expression является истиной. В противном случае этот код будет пропущен.

.ELSE включит код до .ENDIF, если условия в директиве .IF и условия во всех .ELIF были ложными.

```
Синтаксис:
.ELIF<expression>
.ELSE
.IFDEF <symbol> |.IFNDEF <symbol>
...
.ELSE | .ELIF<expression>
...
.ENDIF
Пример:
.IFDEF DEBUG
.MESSAGE "Debugging.."
.ELSE
```

```
.MESSAGE "Release.." ENDIF
```

#### #else - директива условной компиляции

Синтаксис:

#else

Описание:

Все следующие строки до соответствующего #endif условно ассемблируются, если никакая предшествующая ветка в составе последовательности #if... #elif... не оценена как истина.

```
Пример:
#if defined(__ATmega48__) || defined(__ATmega88__)
...... // код специфичный для этих МК
#elif defined (__ATmega169__)
...... // код специфичный для ATmega169
#else
#error "Unsupported part:" __PART_NAME__ // сообщение об ошибке.
#endif
```

# .IF, .IFDEF, .IFNDEF – директивы условного ассемблирования

Условное ассемблирование включает команды из исходного кода в процесс ассемблирования выборочно. Директива IFDEF включит код до соответствующей директивы ELSE, если <symbol> определен. Символ должен быть определен директивами EQU или SET (не будет работать с директивой DEF). Директива IF, если <expression> отлично от 0, включит код до соответствующей директивы ELSE или ENDIF. Возможны до пяти уровней вложенности.

```
Синтаксис:
.IFDEF <symbol>
.IFNDEF <symbol>
.IF <expression>
.IFDEF <symbol> |.IFNDEF <symbol>
...
.ELSE | .ELIF<expression>
...
.ENDIF

Пример:
.MACRO SET_BAT
.IF @0>0x3F
.MESSAGE "Адрес больше, чем 0x3f"
lds @2, @0
sbr @2, (1<<@1)
```

sts @0, @2

ELSE

.MESSAGE " Адрес меньше или равен 0x3f"

ENDIF

.ENDMACRO

.ERROR – вывод строки с сообщением об ошибке.

.WARNING – вывод строки с предупреждением.

.MESSAGE – вывод строки с сообщением.

Синтаксис:

.ERROR "строка"

.WARNING "строка"

.MESSAGE "строка"

Описание:

.ERROR – (ошибка) выдает сообщение об ошибке, останавливает компиляцию и увеличивает счетчик ошибок Ассемблера, тем самым помогает успешному ассемблированию программы. #error определена в стандарте ANSI C.

Пример:

.IFDEF TOBEDONE

.ERROR "Still stuff to be done.."

.ENDIF

.WARNING – (предупреждение) выдает предупреждающее сообщение и увеличивает счетчик предупреждений Ассемблера. В отличие от error не останавливает компиляцию. Директива .warning не определена в стандарте ANSI C, но обычно реализована в препроцессорах, как, например, в препроцессоре GNU C.

Пример:

.IFDEF EXPERIMENTAL FEATURE

.WARNING "This is not properly tested, use at own risk."

.ENDIF

.MESSAGE – (сообщение) выдает сообщение и не влияет на счетчики ошибок и предупреждений Ассемблера. .message не определено в стандарте ANSI C.

Пример:

.IFDEF DEBUG

.MESSAGE "Debug mode"

.ENDIF

Для всех директив сообщения включают файловое имя и номер строки, подобно нормальным сообщениям об ошибках и предупреждениях.

Макросы препроцессора распаковываются, кроме заключенного внутри двойных кавычек (").

Пример:

.error "Неподдерживаемый МК:" \_\_PART\_NAME\_\_

# #include или .INCLUDE – включение другого файла

Синтаксис:

- 1) " file "
- 2) #include <file>

Описание:

Включение файла. Две формы отличаются тем, что (1) ищет сначала текущий рабочий директорий и функционально эквивалентна директиве include Acceмблера. (2) ищет в установленном месте — обычно в директории C:\Program Files\Atmel\AVR Tools\AvrAssembler2\Appnotes. Обе формы ищут включаемые файлы в известном месте установленным Ассемблером.

Лучше использовать абсолютные имена пути к файлу в директивах #include, так как поиск файлов затрудняется при перемещении проектов между другими директориями/компьютерами. Используйте опцию -I командной строки, чтобы определять путь, или установите его в AVR Studio - Project - Assembler Options, в окошке Additional include path.

```
Примеры:
```

#include <m48def.inc>; Ищет в каталоге Appnotes.

#include "mydefs.inc"; Ищет в рабочем каталоге.

; iodefs.asm:

.EQU sreg = 0x3f ; Status register.

.EQU sphigh = 0x3e ; Stack pointer high.

.EQU splow = 0x3d ; Stack pointer low.

; incdemo.asm

.INCLUDE iodefs.asm ; Include I/O definitions.

in r0, sreg ; Read status register.

# .OVERLAP – перекрытие .NOOVERLAP – неперекрытие

Эти директивы нужны для проектов со специфическими особенностями и не должны использоваться в обычных случаях. Они к настоящему времени влияют только на активный сегмент (cseg/dseg/eseg).

Директивы .overlap/nooverlap выделяют секцию кода/данных, которой будет позволено перекрываться с кодом/данными, определенными гденибудь еще, без генерации сообщения об ошибке или предупреждения. Это полностью независимо от того, что установлено с использованием директивы перекрытия #pragma. Атрибут допустимого перекрытия

останется эффективным по директиве .org, но не последует по директивам .cseg/.eseg/.dseg (каждый сегмент выделяется отдельно).

Синтаксис:

.OVERLAP

.NOOVERLAP

Пример:

.overlap

.org 0 ; Секция #1.

rjmp default

.nooverlap.org 0 ; Секция #2.

rjmp RESET ; Здесь нет ошибки.

.org 0 ; Секция #3.

rjmp RESET ; Ошибка, так как есть перекрытие с секцией #2.

Типичное использование этого — устанавливать некоторую форму кода или данных по умолчанию, которые позже могут модифицироваться перекрытием с другими кодом или данными без необходимости вывода сообщения о перекрытии.

# #pragma общего назначения

Синтаксис:

- 1) #pragma warning range byte *option* предупреждение о байтовом диапазоне;
  - 2) #pragma overlap *option* перекрытие;
  - 3) #pragma error instruction ошибки инструкций;
- 4) #pragma warning instruction предупреждения по поводу инструкций.

Описание:

- 1. Ассемблер оценивает постоянные целые выражения как 64 битные знаковые целые. Когда такие выражения использованы как непосредственные операнды, они должны быть включены в количество битов, требующихся команде. Для большинства операндов выход из диапазона вызовет сообщение ошибки "операнд из диапазона". Тем не менее непосредственные байтовые операнды для команд ldi, срi, огi, andi, subi, sbci имеют несколько возможных интерпретаций, в зависимости от *опции (option)*:
- *option* = integer: операнд непосредственно оценен как целое, и если его значение за пределами диапазона (-128 ... 255), будет дано предупреждение. Ассемблер не знает, что предполагает пользователь: операнд целым, со знаком или без знака, следовательно, он допускает любое значение со знаком или без знака, которое умещается в байт.
- *option* = **overflow** (умолчание): операнд оценивается как байт без знака, и любые биты знака будут проигнорированы. Эта опция пригодна

при работе с битовыми масками, когда интерпретация целого должна вызывать массу предупреждений, подобно  $ldi \ r16$ ,  $\sim ((1 << 7) | (1 << 3))$ .

- *option* = **none**: не выводится никаких предупреждений о диапазоне для байтовых операндов. Не рекомендуется.
- 2. Если две секции кода, размещенные в памяти директивой .org, перекрываются, передается сообщение об ошибке. *Опции* модифицируют это поведение следующим образом:
- *option* = ignore: игнорирует условия перекрытия и не выдаются никакие ошибки, никакие предупреждения. Не рекомендуется.
- *option* = warning: при обнаружении перекрытия выдается предупреждение.
- *option* = error: считает перекрытие как ошибку, это рекомендовано устанавливать по умолчанию.
- 3. Использование инструкций, которые не поддерживаются на выбранном устройстве, вызывает ошибку Ассемблера (поведение по умолчанию).
- 4. Использование инструкций, которые не поддерживаются на выбранном устройстве, вызывает предупреждение Ассемблера.

## **#pragma**, связанная с маркой МК AVR

Синтаксис:

- 1) #pragma AVRPART ADMIN PART\_NAME string
- 2) #pragma AVRPART CORE CORE\_VERSION version-string
- 3) #pragma AVRPART CORE INSTRUCTIONS\_NOT\_SUPPORTED mnemonic[operand[,operand]][....]
- 4) #pragma AVRPART CORE NEW\_INSTRUCTIONS mnemonic [operand[,operand]][:...]
- 5) #pragma AVRPART MEMORY PROG\_FLASH size
- 6) #pragma AVRPART MEMORY EEPROM size
- 7) #pragma AVRPART MEMORY INT\_SRAM SIZE size
- 8) #pragma AVRPART MEMORY INT\_SRAM START\_ADDR address Onucaнue:

Эти директивы предназначены для указания различных характеристик МК и могут быть использованы во включаемом файле (partdef.inc). Естественно, нет причины использовать эти pragma непосредственно в программах пользователя.

В ргадта недопустимы макросы препроцессора. Числовые аргументы в выражениях должны быть целыми числами в десятичном, шестнадцатеричном, восьмеричном или двоичном формате. Строковые аргументы не должны быть заключены в кавычки. В ргадта определяются следующие характеристики МК:

1. Имя МК, например, ATmega8.

- 2. Версия ядра AVR. Это определяет основные поддерживаемые инструкции. Версии ядра к настоящему времени: V0, V0E, V1, V2 и V2E.
- 3. Разделенный список инструкций (команд), не поддерживаемых этим МК, относительно версии ядра.
- 4. Разделенный список дополнительных инструкций (команд), поддерживаемых этим МК, относительно основной версии ядра.
  - 5. Размер флэш-памяти программ в байтах.
  - 6. Размер EEPROM-памяти в байтах.
  - 7. Размер SRAM-памяти в байтах.
- 8. Стартовый адрес SRAM-памяти 0x60 для основных МК AVR, 0x100 или более для МК с расширенным B/B.

Имейте в виду, что комбинация параметров в этих примерах не описывает реальный МК AVR!

- 1) #pragma AVRPART ADMIN PART NAME ATmega32
- 2) #pragma AVRPART CORE CORE VERSION V2
- 3) #pragma AVRPART CORE INSTRUCTIONS\_NOT\_SUPPORTED movw:break:lpm rd,z
  - 4) #pragma AVRPART CORE NEW INSTRUCTIONS lpm rd,z+
  - 5) #pragma AVRPART MEMORY PROG FLASH 131072
  - 6) #pragma AVRPART MEMORY EEPROM 4096
  - 7) #pragma AVRPART MEMORY INT\_SRAM START\_ADDR 0x60
  - 8) #pragma AVRPART MEMORY INT\_SRAM SIZE 4096

## # (пустая директива)

Синтаксис:

#

Описание:

Неудивительно, что эта директива ничего не делает. Единственная причина, по которой она существует, – это удовлетворить стандарту ANSI C.

## 3.3. Операторы AVRASM2

# (#) Stringification ( выстроить по порядку в строку)

Оператор stringification преобразует в текстовую строку параметр функции, вызывавшей макрос.

Пример:

#define MY\_IDENT(X) .db #X, '\n', 0 Если параметр назван подобно этому MY\_IDENT(FooFirmwareRev1), результатом действия #X будет .db "FooFirmwareRev1", '\n', 0 Примечания:

- 1. Stringification может быть использован только с параметрами в макросе функционального типа.
- 2. Значение параметра используется буквально, то есть это не будет расширено перед stringification.

#### (##) Concatenation (конкатенация – взаимная связь, сцепление)

Оператор конкатенации объединяет (конкатенирует) два параметра препроцессора, формируя новый параметр. Это возможно, когда, по крайней мере, один из параметров является параметром в макросе функционального типа.

```
Пример:
#define FOOBAR subi
#define IMMED(X) X##i
#define SUBI(X,Y) X ## Y
Когда макросы IMMED и SUBI вызываются как здесь:
    IMMED(ld) r16,1
    SUBI(FOO,BAR) r16,1
    oни могут быть расширены как
    ldi r16,0x1
    subi r16,0x1
```

Примечание:

В функциональном типе макроса аргумент используется буквально, т.е., макрос не будет расширен перед конкатенацией.

Параметр, сформированный конкатенацией, подвергнется дальнейшему расширению. В приведенном примере параметры FOO и BAR сначала конкатенировались в FOOBAR, а затем FOOBAR был расширен в subi.

## 3.4. Предопределенные макросы

Препроцессор имеет множество предопределенных макросов. Все имена начинаются и заканчиваются двумя подчеркиваниями \_ \_ без пробела между ними. При этом два подчеркивания сливаются \_\_. Для избежания конфликтов, в определениях макросов пользователи не должны использовать такие подчеркивания в других именах.

Предопределенные макросы встроены или установлены директивой #pragma, как показано в табл. 8.

Предопределенные макросы

Имя	Тип	Установлен	Описание
AVRASM_VER SION	Integer	Встроен	Версия Ассемблера, закодированная как (1000* major + minor)
CORE_VER SION	String	#pragma	Версия ядра. AVR
DATE	String	built-in	Формирует формат даты "Jun 28 2006", см. опцию командной строки -FD
TIME	String	built-in	Формирует формат времени: "HH:MM:SS", см. опцию командной строки -FT
CENTURY	Integer	built-in	Столетие (естественно) 20
YEAR	Integer	built-in	Формирует год в столетии (0-99)
MONTH	Integer	built-in	Формирует месяц (1-12)
DAY —	Integer	built-in	Формирует день (1-31)
HOUR	Integer	built-in	Формирует час (0-23)
MINUTE	Integer	built-in	Формирует минуты (0-59)
SECOND	Integer	built-in	Формирует секунды (0-59)
FILE	String	built-in	Имя исходного файла
LINE	Integer	built-in	Номер текущей строки исходного файла
PART_NAME	String	#pragma	Название MK AVR
 partname	Integer	#pragma	Название МК пересылается в величину        PART_NAME,         например: #ifdefATmega8
CORE_corever sion	Integer	#pragma	Версию ядра пересылает в величинуCORE_VERSION, например: #ifdefCORE_V2

### 4. НАСТРОЙКА АССЕМБЛЕРА

#### 4.1. Опции

Некоторые установки программы могут быть изменены через пункт меню Assembler Options из выпадающего списка Project. Если выбрать этот пункт, то появится диалоговое окно (рис. 2).

В прямоугольнике "Hex Output Format " можно выбрать формат выходного файла (как правило, используется интеловский). Однако это не влияет на объектный файл (используемый AVR Studio), который всегда имеет один и тот же формат и расширение ОВЈ. Если в исходном файле присутствует сегмент EEPROM, то будет также создан файл с расширением EEP. Установки, заданные в данном окне, запоминаются и при следующем запуске программы их нет необходимости переустанавливать.

В поле "Output file" выбирается вид файла, который получится в результате компиляции программы.

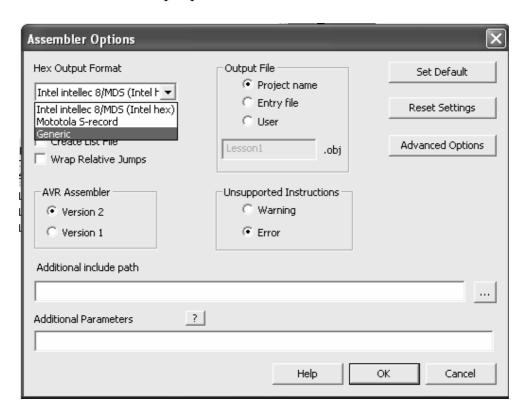


Рис. 2. Окно настроек Ассемблера

Опция "Wrap relative jumps" даёт возможность "заворачивать" адреса. Эта опция может быть использована только на чипах с объёмом программной памяти 4К слов (8Кбайт), при этом становится возможным делать относительные переходы (rjmp) и вызовы подпрограмм (rcall) по всей памяти.

В области AVR Assembler осуществляется выбор между AVRASM2 (версии 2 по умолчанию) и AVRASM. Если у вас есть проблемы совместимости с новым AVRASM2, вы можете использовать старый AVRASM (версии 1). При этом дополнительные параметры и неподдерживаемые инструкции не будут доступны.

В области Unsupported Instructions (неподдерживаемые инструкции) по умолчанию установлена опция — выдавать ошибку, когда Ассемблер обнаруживает неподдерживаемые инструкции для используемого МК. Дополнительно можно установить вывод предупреждения. Эти опции доступны только для AVRASM2.

Примечание:

Для устранения ошибки вы должны использовать правильный включаемый файл.

В поле Additional include path (добавление дополнительного пути) можно установить путь к каталогу, где находятся включаемые файлы. По умолчанию установлен путь: \\Atmel\AVR Tools\AvrAssembler2\Appnotes.

При использовании Ассемблера v1 путь может быть изменен на: \Atmel\AVR Tools\AvrAssembler\Appnotes/.

В поле Additional Parameters (дополнительные параметры) могут быть установлены параметры с использованием командной строки. При помощи знака вопроса (?) открывается страница подсказки Ассемблера, на которой описывают эти параметры на английском языке. На русском языке они описаны ниже в подразд. 4.2.

#### 4.2. Опции командной строки AVRASM2

Подобно AVRASM, AVRASM2 может быть использован как отдельная программа с командной строкой. Синтаксис командной строки вызова AVRASM2 показан ниже. Много опций, таких же, как и в AVRASM, новые/изменившиеся опции AVRASM2 показаны жирным шрифтом и описаны ниже.

Опции:

- -f [O|M|I|G|-] выходной файловый формат:
  - -fO информация об отладке для симулятора AVR Studio (умолчание);
  - -fO1 | -fO2 принудительная установка версии формата 1 или 2 (умолчание: авто);
  - -fM Motorola;
  - -fI Intel hex;
  - -fG общий шестнадцатеричный формат;
  - **-f** нет выходного файла.
- -o ofile вывод помещается в 'ofile'.
- -d dfile генерировать информацию для отладки в симуляторе AVR Studio в 'dfile'. Может использоваться только с опцией -f [M|I|G].
- -l lfile генерировать листинг в 'lfile'.
- -m mfile генерировать карту в 'mfile'.
- -e efile расположить EEPROM в'efile'.
- -w относительные переходы позволено завертывать для ROM величиной вплоть до 4k слов.
- -C ver определяет версию ядра AVR.
- -с распознавание символов становится чувствительным к регистру.
- -1/-2 переключает вкл/выкл версии 1 или 2 Ассемблера AVR.
- -I dir -включает каталог 'dir' в путь поиска файлов.
- -i file –явное предварительное включение файла
- -D name[=value] определяет символ. Если =value (величина) опущена, она устанавливается в 1.

- -U name отмена определения имени: символ.
- -v многословие [0-9](s по умолчанию):
- -vs включать в статистику ресурс использованного целевого МК;
- -vl вывод низкого-уровневого кода Ассемблера;
- -v0 отключение, печать только сообщения об ошибках;
- -v1 печать сообщения об ошибках и предупреждения;
- -v2 печатать сообщения об ошибках, предупреждения и информацию (по умолчанию);
- -v3-v9 неопределенные, возрастающие суммы внутренних дампов Ассемблера.
- -O i|w|e сообщение о перекрытии: ignore|warning|error (error по умолчению).
- -W-b|+bo|+bi предупреждение: байт-операнд вышел из диапазона disable|overflow|integer.
- -W+ie|+iw неподдерживаемая ошибка | предупреждение инструкции.
- -FD|Tfmt \_\_DATE\_\_ | \_\_TIME\_\_ формат, использующий строку формата strftime(3).

Подробное описание опций:

### -f – установка выходного файлового формата

Предусмотренные форматы generic/Intel/Motorola являются шестнадцатеричными объектными файлами AVR. Есть два подварианта AVR объектного файлового формата:

- Стандартный формат (V1) с 16-битовыми номерами строк, поддерживающий исходные файлы вплоть до 65534 строк.
- Расширенный формат (V2) с 24-битовыми номерами строк, поддерживающий исходные файлы вплоть до  $\sim 16 M$  строк.

По умолчанию, когда выходной формат не определен или определен как -fO, Ассемблер выберет подходящий формат автоматически, V1 — если файл имеет менее чем 65533 строк, V2 — если более. Опции -fO1 и -fO2 могут быть использованы, чтобы установить выходной файловый формат V1 или V2 независимо от количества строк.

Если файловый формат V1 использован исходными файлами более чем с 65534 строками, Ассемблер выдаст предупреждение, и строки выше 65534 не будут отлажены. С другой стороны, формат V2 не распознается версиями AVR Studio до 4.12.

Для всех нормальных проектов Ассемблера по умолчанию опция должна быть безопасной.

#### -w - завертывание относительных переходов

Эта опция устаревшая, поскольку AVRASM2 автоматически завертывает относительные переходы, базирующиеся в программной памяти. Опция распознается, но игнорируется.

-C core-version – определение версии ядра AVR

Основная версия нормально определяет спецификацию включаемых файлов (*маркаМК* def.inc).

-0

Заставляет Ассемблер быть чувствительным к регистру символов. Директивы препроцессора и инструкции МК – всегда регистрочувствительны.

*Предупреждение:* установка этой опции может прервать много существующих проектов.

#### -1 или -2

Позволяет включать/выключать режим совместимости с AVRASM1. Этот режим блокируется (-2) по умолчанию. Режим совместимости (-1) обеспечит уверенный запуск ранее созданных проектов, в противном случае (в режиме -2) возможны сообщения об ошибках при запуске существующих проектов. Он также влияет на путь к встроенным включаемым файлам (devicedef.inc). Путь, определенный в Ассемблере 1, — C:\Atmel\AVR Tools\AvrAssembler\Appnotes, а место расположения inсфайлов в Ассемблере 2 — C:\Atmel\AVR Tools\AvrAssembler2\Appnotes. Новые устройства не поддерживаются Ассемблером 1.

#### -I directory

Добавляет пути поиска директорий включаемых файлов. Это влияет как на директиву #include препроцессора, так и на директиву .include Ассемблера. Многократные директивы -I задают поиск директории в определенном порядке.

### -i *file* – включить файл

Директива #include "file" обрабатывается прежде, чем будет обработана первая строка исходного кода. Многократные директивы -i могут быть использованы для определения порядка поиска.

## -D name/=value/

#### -U name

Определение и отмена определения макроса препроцессора соответственно. Заметьте, что макросы функционального типа препроцессора не могут быть определены из командной строки. Если в -D величина (=value) не задана, она устанавливается 1.

**-vs** – печатает статистику использованного МК в стандартном виде. По умолчанию печатается только информация о памяти.

Примечание:

Полная статистика всегда будет напечатана на файле листинга, если он определен.

- -vl печатает необработанные инструкции, выданные в стандартном виде, главным образом для отладки Ассемблером.
- -v0 печатает только сообщения об ошибках, предупреждения и информационные сообщения запрещены.

- **-v1** печатает сообщения об ошибках и предупреждения.
- **-v2** печатает предупреждающие и информационные сообщения, а также сообщения об ошибках (по умолчанию).
- -v3... -v9 печатает повышение сумм дампа внутреннего статуса Ассемблера. В основном используется Ассемблером для отладки.

### -O i|w|e

Если в памяти перекрываются секции кода при использовании директивы .org , будет передано сообщение об ошибке.

Эта опция позволяет устанавливать реакцию на перекрытие кода: выдавать ошибку (-Oe, умолчание), предупреждение (-Ow) или полностью проигнорировать (-Oi). Последнее не рекомендуется. Это может быть также установлено директивой перекрытия #pragma.

### -W-b |-W+bo | -W+bi

-b, +bo и +bi — никакого предупреждения, предупреждение — когда переполнение и когда величина целого вышла из диапазона соответственно. Это может быть также установлено #pragma warning range.

#### -W+ie|+iw

+ie и +iw — выбираются, если используются неподдерживаемые инструкции: выдают ошибку или предупреждение соответственно. По умолчанию — ошибка. Для #pragma error instruction / pragma warning instruction) соответственно.

**-FDformat** и **-Ftformat** – определяют формат даты и времени встроенных макросов \_\_DATE\_\_ и \_\_TIME\_\_ соответственно. Строки формата входят непосредственно в библиотечную функцию strftime(3) языка Си. Макросы препроцессора \_\_DATE\_\_ и \_\_TIME\_\_ всегда являются строками параметров, т. е. их значения появляются в двойных кавычках. По умолчанию – форматы "%b %d %Y" и "%H:%M:%S" соответственно.

#### Пример:

Формат ISO для \_\_DATE\_\_ определяется как -FD"%Y-%m-%d" (см примечание ниже). Эти форматы могут быть определены только в командной строке, нет соответствия #pragma директивам.

#### Примечание:

Командный интерпретатор Windows (cmd.exe или command.com) может интерпретировать символьную последовательность, начинающуюся и оканчивающуюся символом %, как переменную среды, которая расширяется даже при ссылке на неё. Это может вызвать изменение формата строк "дата/время" командным интерпретатором и не работать, как ожидается. Вариант, который будет работать во многих случаях, это использование двойного количества символов %, чтобы определять директивы формата, например -FD"%%Y-%%m-%%d". Точное поведение командного интерпретатора может быть противоречивым и изменяется в

зависимости от множества обстоятельств: одно – в пакетном и другое – в диалоговом режимах. Эффект директив формата должен быть протестирован. Рекомендовано помещать следующую строку в исходный файл для тестирования:

```
#message " DATE =" DATE " TIME =" TIME
```

Она напечатает величину даты и времени макроса, когда программа ассемблирована, чтобы облегчать проверку (см. директиву #message).

Несколько важных описателей формата strftime (подробнее см. руководство по strftime(3)):

```
%Y — год, 4 цифры;

%y — год, 2 цифры;

%m — номер месяца (01—12);

%b — укороченное имя месяца;

%d — день месяца (01—31);

%a — укороченное имя дня недели;

%A — полное имя дня недели;

%H — час, 24-часовые часы (00—23);

%I — час, 12-часовые часы (01—12);

%p — "до" или "после полудня" для 12-часовых часов;

%M — минуты (00—59);

%S — секунды (00—59).
```

## 4.3. Преобразователь ХМL

В этом подразделе рассматриваются следующие вопросы:

- Размещение и вызов.
- Примеры:

Создание включаемого файла Ассемблера.

Создание заголовочного файла для компилятора IAR.

Создание заголовочного файла для GCC.

• Соглашения об именах файлов.

Преобразователь XML является отдельным средством командной строки, используемым для создания включаемых файлов Ассемблера и заголовочных файлов Си из файлов описания МК (XML), используемых AVR Studio.

Все включаемые файлы для AVR Ассемблера в дистрибутиве AVR Studio получены с помощью этого средства. Оно же используется для получения заголовочных файлов для компиляторов Си: AVR GCC, IAR и "generic". У программы преобразователя XML пока нет графического интерфейса пользователя, и она должна быть вызвана из командной строки.

#### 4.3.1. Размещение и вызов

Преобразователь ХМL располагается здесь:

C:\Program Files\Atmel\AVR Tools\AvrStudio4\xmlconvert.exe

Для доступа к папке преобразователя XML нужно прописать путь к нему. Это можно сделать так: откройте окно DOS, используя меню Пуск > Все программы > Стандартные > Командная строка, и введите следующую команду:

PATH = %PATH%;"C:\Program Files\Atmel\AVR Tools\AvrStudio4"

Напечатав после командного приглашения xmlconvert без аргументов, вы получите сообщение об использовании этой программы:

*xmlconvert: No source file specified* – не определен исходный файл *Использование:* xmlconvert[-foutput-format][-o outdir][-1nbclV] infile... *Выходные форматы:* a[vrasm] | g[cc] | i[ar] | c[c] (generic c) Опшии:

- -1 = Don't generate AVRASM2 #pragma's не генерирует AVRASM2 #pragma's.
  - -n = Don't warn about bad names не предупреждает о плохих именах.
- -b = use DISPLAY\_BITS attribute to limit bit definitions использование DISPLAY BITS атрибута для ограничения битовых определений.
- -c = Add some definitions for compatibility with old files добавлять некоторые определения для совместимости со старыми файлами.
  - -l = Produce linker file (IAR only) компоновка файла (IAR только)
- -q = Allow linked register quadruple (32-bit) допускается объединение четырех регистров (32 бита).
- -V = print xmlconvert version number распечатка номера версии xmlconvert.

Файлы описания МК AVR находятся в папке:

 $C:\Program\ Files\Atmel\AVR\ Tools\Partdescriptionfiles.$  Для каждого МК по одному файлу.

## 4.3.2. Примеры

Рассмотрим несколько примеров:

1. Создание включаемого файла Ассемблера для ATmega128.

Создайте папку С: $\Tmp$ . Запишите в командной строке следующий текст:

 $xmlconvert -c -o c: \label{localize} C: \label{localize} Part description files \label{localize} A T megal 28.xml''$ 

Эта команда создает включаемый файл для ATmega128 в папке C: Tmp. Если опция **-**o опущена, выходной файл будет расположен в той же

папке, что и входной файл. Обращение к выходному файлу будет C: \Tmp\m128def.inc.

Примечание:

Опция -c должна быть всегда использована, если созданные файлы должны быть совместимыми с существующими файлами.

2. Создание заголовочных файлы для всех МК для компилятора IAR C. Введите в командной строке текст:

 $cd "C: \Program Files \land Atmel \land AVR Tools \land Part description files "xml convert - c - n - fiar - l - o C: \land Work \land tmp *.xml$ 

При использовании нескольких входных файлов ставится команда cd в начале исходной папки. Опция *-fiar* определяет выходные файлы IAR, опция *-l* запрашивает компоновщик созданных файлов, опция *-n* подавляет некоторые предупреждающие сообщения.

Примечание:

Файловое средство компоновщика отчасти экспериментальное и в зависимости от МК может потребоваться редактирование результирующего файла перед его применением. Пожалуйста, обратитесь к описаниям IAR об этих файлах.

3. Создание заголовочного файла для компилятора AVR GCC для всех MK.

 $cd "C: \Program Files \Atmel \AVR Tools \Part description files" xml convert -c -n -fgcc -o C: \Work \tmp *.xml$ 

Это почти та же команда, что и в предшествующем примере, за исключением того, что -fgcc определяет выходные файлы GCC и опущена опция -I, которая ничего не делает для GCC.

# 4.3.3. Соглашения об именах файлов

XML-файлы описания МК всегда называются devicename.xml. Используются следующие соглашения для определения имени inc-файлов для МК различных семейств AVR (где nnn – число в наименовании МК, например, 2313 в ATtiny2313):

• Классическая серия AVR: AT90Snnn -> nnndef.inc.

Пример: AT90S8515 -> 8515def.inc.

Серия Tiny AVR: ATtinynnn -> tnnnndef.inc.

Пример: ATtiny13 -> tn13def.inc.

• Серия Mega AVR: ATmegannn -> mnnndef.inc.

Пример: ATmega644 -> m644def.inc.

• Серия CAN AVR: AT90CANnnn -> cannnndef.inc.

Пример: AT90CAN128 -> can128def.inc.

• Серия PWM AVR: AT90PWMnnn -> pwmnnndef.inc. Пример: AT90PWM3 -> pwm3def.inc. При создании заголовочных файлов для Си-компиляторов (IAR, GCC) преобразователь XML следует за соглашениями, используемыми изготовителями компилятора. Например, как IAR, так и GCC называют файл заголовка ATmega128: iom128.h. Преобразователь XML подчиняется этим соглашениям, поскольку они известны и документированы.

Если выбран формат "generic C", файлы заголовка называются device.h, например, ATmega128.h.

#### 4.4. Сообщения об ошибках

После компиляции программы появляется окно сообщений, в котором будут перечислены все обнаруженные компилятором ошибки. При выборе строки с сообщением об ошибке строка исходного файла, в которой найдена ошибка, становится красной. Если же ошибка находится во вложенном файле, то этого подсвечивания не произойдёт.

Если по строке в окне сообщений дважды щелкнуть правой кнопкой, то окно с указанной ошибкой становится активным и курсор помещается в начале строки содержащей ошибку. Если же файл с ошибкой не открыт (например, вложенный файл), то он автоматически откроется.

Учтите, что если вы внесли изменения в исходные тексты (добавили или удалили строки), то информация о номерах строк в окне сообщений не является корректной, пока вы не перекомпилировали текст.

Дефекты выявленные в Ассемблере 2 AVR:

**Дефект** #4146: продолжение строки не работает в макро вызовах. Программная иллюстрация этого дефекта: .macro m ldi @0, @1 .endm

m r16,\

0

При этом нет ошибки в определении макроса (#define).

Потеря конца строки в конце файла. Проблема с последней строкой исходного файла состоит в том, что AVRASM2 пропускает конец строки. Сообщения об ошибке могут ссылаться на неправильные имя файла/номера строки. В некоторых случаях причиной могут быть синтаксические ошибки в последней строке включаемых файлов.

**Комментарии** в вызовах макроса. Есть известный дефект, вызывающий синтаксические ошибки в ситуациях, когда комментарии Систиля (/\* \*/, //) использованы в строке с макровызовами.

**Операторы инкремента/декремента.** Операторы инкремента/ декремента (++/--) распознаются Ассемблером, но могут вызвать сообщение о синтаксической ошибке. Если символы --1 вызовут синтаксическую ошибку, напишите этот символы через пробел: - -1.

*Преждевременные ссылки в условиях.* Использование форвардной ссылки в условиях может вызвать в Ассемблере сюрпризы, поэтому она не допускается.

```
Пример:
.ifdef FOO
nop; здесь некоторый код
.endif
rjmp label
; далее некоторый код
.equ FOO = 100
label:
nop
```

В этом примере FOO не определяется на данном этапе использования её в условии, и намерения программиста не ясны. Следующий, повидимому, разумный пример вызовет тот же тип ошибки:

```
.org LARGEBOOTSTART
; нижеследующее устанавливает RAMPZ: Z указывает на объект
; данных во флэш-памяти и обычно для использования с ELPM.
ldi ZL, low (cmdtable * 2)
ldi ZH, high (cmdtable * 2)
.if ((cmdtable * 2) > 65535)
ldi r16, 1
sts RAMPZ, r16
.endif
; далее следует код:
cmdtable: .db "foo", 0x0
```

Причина этого в том, что результат вычисления условия повлияет на значение адреса метки, которое, в свою очередь, может повлиять на результат вычисления условия, и так далее.

Вплоть до AVRASM 2.0.30 включительно эти ситуации не всегда правильно обнаруживались, вызывая непонятные сообщения об ошибках. Начиная с версии 2.0.31 явных сообщений об ошибках не было.

С условными операторами препроцессора (#if/#ifdef) ситуация отчетливо выраженная и этот тип ошибки никогда не произойдет.

**Сообщения об ошибках.** Иногда сообщения об ошибках могут быть трудными для понимания. Даже простая опечатка может привести к сообщению об ошибке, подобно этому:

myfile.asm(30): ошибка: синтаксическая ошибка, неожиданный FOO, где FOO представляет малопонятную тарабарщину. Ссылочные имя файла и номер строки при этом правильные.

**Defined неправильно распознаётся как ключевое слово Ассемблера.** Ключевое слово defined (см. на стр.18 определение функции DEFINED)

распознается во всех контекстах, хотя оно должно распознаваться только в условных директивах. Это приводит к тому, что *defined* может быть распознано как символы пользователя, подобно метке и т.п. С другой стороны, допустима конструкция, подобная .dw foo = defined(bar).

Заметьте, что препроцессор и Ассемблер реализуют различное поведение *defined*. К настоящему времени точное поведение определенно в версиях 2.1.5 и выше:

- Ключевое слово препроцессора *defined* имеет отношение только к определению #define и правильно работает только в условных директивах препроцессора #if/#elif.
- Правильное поведение функции Ассемблера *defined* должно реализовываться только в условных директивах .if/.elif.

Проблемы с препроцессором:

• Препроцессор не обнаруживает неправильные директивы в случае «лжи» при проверке условия. Это может привести к сюрпризам, подобно этому:

```
#if __ATmega8___ //...

#elseif __ATmega16__ // НЕПРАВИЛЬНО, правильная директива – #elif. //Ошибка пройдет необнаруженной, если __ATmega8__ – ложь. //... #else // когда __ATmega8__ – ложь, эта секция будет ассемблирована // даже если бы __ATmega16__ была истина. #endif
```

Причина этого дефекта не выяснена, возможно, она связана с поведением препроцессора Си.

• Препроцессор неправильно распознает дополнительный текст после директив. Например, #endif #endif будет интерпретироваться как единственная #endif директива, без сообщений об ошибках или предупреждений.

**Дефект** #4741: не работают условные директивы в макросах препроцессора. Использование макроса, определенного ниже, закончится различными сообщениями о синтаксических ошибках в зависимости от значения val (истина или ложь) в условии:

```
#define TECT \
.IF val \
.DW 0 \
.ELSE \
.DW 1 \
.ENDIF
```

Причина этого в том, что условные директивы Ассемблера должны быть на отдельной строке, а определение этого макроса препроцессора должно быть конкатенировано в одну строку.

### 5. СИСЕМА КОМАНД 8-РАЗРЯДНЫХ RISC МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ СЕМЕЙСТВА AVR

#### 5.1. Список команд

Принятые обозначения:

## Регистр статуса (SREG):

- С флаг переноса;
- Z флаг нулевого значения;
- N флаг отрицательного значения;
- V флаг-указатель переполнения дополнительного кода;
- S флаг знака,  $S = N \oplus V$ ;
- Н флаг полупереноса;
- Т флаг пересылки, используемый командами BLD и BST;
- I: флаг разрешения/запрещения глобального прерывания.

#### Регистры и операнды:

- Rd регистр-приемник (и источник) в регистровом файле;
- Rr регистр-источник в регистровом файле;
- К константа: литерал или байт данных (8 бит);
- k –адрес, константа;
- номер разряда в регистровом файле или регистре ввода/вывода (3 бита);
- s: номер разряда в регистре статуса (3 бита);
- X, Y, Z регистры косвенной адресации (X=R27:R26, Y=R29:R28, Z=R31:R30);
- Р регистр порта I/O;
- q смещение при косвенной адресации (6 бит).
- РС содержание программного счетчика

#### Стек:

STACK: - стек для адреса возврата и опущенных в стек регистров;

SP: – указатель стека.

## Операции:

- \* логическое И,  $\vee$  логическое ИЛИ,  $\oplus$  исключающее ИЛИ.
- MSB старший значащий разряд.
- LSB младший значащий разряд.

Список команд микроконтроллеров семейства Mega AVR в алфавитном порядке приведен в табл. 9. Звездочкой помечены команды, отсутствующие в семействе Tiny.

## Список команд

	CIIICOK
Обозна-	Функция
чение	Функция
1	2
ADC	Сложить с переносом
ADD	Сложить без переноса
ADIW*	Сложить непосредственное
	значение со словом
AND	Выполнить логическое AND
ANDI	Выполнить логическое AND с
	непосредственным значением
ASR	Арифметически сдвинуть вправо
BCLR	Очистить флаг
BLD	Загрузить Т флаг в бит регистра
	Перейти, если бит в регистре
BRBC	статуса очищен
	Перейти, если бит в регистре
BRBS	статуса установлен
	Перейти, если флаг переноса
BRCC	очищен
	Перейти, если флаг переноса
BRCS	установлен
BREAK	Выход
BREQ	Перейти, если равно
BRGE	Перейти, если больше или равно (с учетом знака)
BRHC	Перейти, если флаг полупереноса очищен
BRHS	Перейти, если флаг полупереноса установлен
BRID	Перейти, если глобальное
	прерывание запрещено
BRIE	Перейти, если глобальное
	прерывание разрешено
BRLO	Перейти, если меньше (без знака)
BRLT	Перейти, если меньше чем (со знаком)
BRMI	Перейти, если минус
BRNE	Перейти, если не равно
BRPL	Перейти, если плюс
BRSH	Перейти, если равно или больше
	(без знака)
	\ ~- <del></del> ,

оманд	
Обозна-	Функция
чение	, ,
l	2
BRTC	Перейти, если флаг Т очищен
BRTS	Перейти, если флаг Т установлен
BRVC	Перейти, если переполнение очищено
BRVS	Перейти, если переполнение
DRVS	установлено
BSET	Установить флаг
BST	Переписать бит из регистра во флаг Т
CBI	Очистить бит в регистре I/O
CBR	Очистить биты в регистре
CALL*	Длинный переход на
	подпрограмму
CBI	Очистить бит в регистре ввода /
	вывода
CBR	Очистить биты в регистре
CLC	Очистить флаг переноса
CLH	Очистить флаг полупереноса
CLI	Очистить флаг глобального
	прерывания
CLN	Очистить флаг отрицательного
	значения
CLR	Очистить регистр
CLS	Очистить флаг знака
CLT	Очистить флаг T
CLV	Очистить флаг переполнения
CLZ	Очистить флаг нулевого
	значения
COM	Выполнить дополнение до
	единицы
CP	Сравнить
CPC	Сравнить с учетом переноса
CPI	Сравнить с константой
CPSE	Сравнить и пропустить, если
	равно

Продолжение табл.9

1	2.
DEC	Декрементировать
EICALL*	Расширенный ICALL
EICALL*	Расширенный ІЈМР
ELPM*	1
ELPM*	Расширенная загрузка данных
EOR	Выполнить исключающее ИЛИ
FMUL*	Умножение дробных
E) GH C*	беззнаковых чисел
FMULS*	Умножение дробных чисел со знаком
FMULSU	Умножение дробного
*	беззнакового числа и
	дробного числа со знаком
ICALL*	Вызвать подпрограмму
	косвенно
IJMP*	Перейти косвенно
	Загрузить данные из порта
IN	І/О в регистр
INC	Инкрементировать
JMP*	Перейти
LD* Rd,X	Загрузить косвенно
LD*	Загрузить, косвенно
Rd,X+	инкрементировав
Ku,A	впоследствии
LD* Rd,-	Загрузить, косвенно
X	декрементировав
Λ	предварительно
I DI	Загрузить непосредственное
LDI	значение
LDS*	Загрузить непосредственно из
	СОЗУ
LPM	Загрузить байт памяти
21111	программ
LSL	Логически сдвинуть влево
LSR	Логически сдвинуть вправо
MOV	Копировать регистр
MUL*	Перемножить без знака
MULS*	Перемножить со знаком
MULSU*	Перемножить числа со знаком и без знака

	продолжение таол. л
1	2
NEG	Дополнить до двух
NOP	Выполнить холостую команду
OR	Выполнить логическое OR
ODI	Выполнить логическое OR с
ORI	непосредственным значением
	Записать данные из регистра в
OUT	порт І/О
DOD#	1
POP*	Загрузить регистр из стека
	_
PUSH*	Поместить регистр в стек
RCALL	Вызвать подпрограмму
ROTEL	относительно
RET	Вернуться из подпрограммы
RETI	Вернуться из прерывания
RJMP	Перейти относительно
ROL	Сдвинуть влево через перенос
	Сдвинуть вправо через
ROR	перенос
SBC	_
SBC	Вычесть с переносом
SBCI	Вычесть непосредственное
SBCI	значение с переносом
SBI	Vereyenyay five a newyern I/O
SBI	Установить бит в регистр I/O
	Пережини
SBIC	Пропустить, если бит в
	регистре І/О очищен
SBIS	Пропустить, если бит в
	регистре І/О установлен
SBIW*	Вычесть непосредственное
	значение из слова
SBRC	Пропустить, если бит в
	регистре очищен
SBRS	Пропустить, если бит в
	регистре установлен
SEC	Установить флаг переноса
SEH	Установить флаг полупереноса
SEI	Установить флаг глобального
	прерывания
SEN	Установить флаг
	отрицательного значения

#### Окончание табл 9

1	2
SER	Установить все биты регистра
SES	Установить флаг знака
SET	Установить флаг Т
SEV	Установить флаг переполнения
SEZ	Установить флаг нулевого значения
SLEEP	Установить режим SLEEP
SPM*	Изменение содержимого памяти программ
ST* X,Rr	Записать косвенно
ST* Y,Rr	Записать косвенно из регистра в СОЗУ с использованием индекса Y

	Окончание табл.9
1	2
ST Z,Rr	Записать косвенно из регистра в СОЗУ с использованием индекса Z
STS*	Загрузить непосредственно в СОЗУ
SUB	Вычесть без переноса
ST Z,Rr	Записать косвенно из регистра в СОЗУ с использованием индекса Z
STS	Загрузить непосредственно в CO3У
SUBI	Вычесть непосредственное значение
SWAP	Поменять полубайты местами
TST	Проверить на ноль или минус
WDR	Сбросить сторожевой таймер

#### 5.2. Описание команд

## Команда ADC – сложить с переносом

Описание:

Сложение двух регистров и содержимого флага переноса (C), размещение результата в регистре назначения Rd.

One payus: Rd < - Rd + Rr + C

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

ADC Rd,Rr 0 < d < 31, 0 < r < 31 PC < PC + 1

- Н Устанавливается, если есть перенос из бита 3, в ином случае очищается.
- **S** Для проверок со знаком.
- V Устанавливается, если в результате операции образуется переполнение дополнения до двух, в ином случае очищается.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.
- C Устанавливается, если есть перенос из MSB результата, в ином случае очищается.

```
; Сложить два шестнадцатеричных числа, ; находящихся в регистровых парах ; R1 : R0 и R3 : R2. add r2, r0 ; Сложить младший байт. adc r3, r1 ; Сложить старший байт с переносом. ; Результат будет находиться в регистровой ; паре R1 : R0.
```

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

#### Команда ADD – сложить без переноса

Описание:

Сложение двух регистров без добавления содержимого флага переноса (C), размещение результата в регистре назначения Rd.

Onepaция: Rd <− Rd + Rr

Синтаксис Операнды: Счетчик программ: ADD Rd,Rr 0 < d < 31, 0 < r < 31 PC < PC + 1

- Н Устанавливается, если есть перенос из бита 3, в ином случае очищается.
- **S** Для проверок со знаком.
- V Устанавливается, если в результате операции образуется переполнение дополнения до двух, в ином случае очищается.
- **N** Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.
- C Устанавливается, если есть перенос из MSB результата, в ином случае очищается.

## Пример:

```
add r1,r2 ; Сложить r2 c r1 (r1=r1+r2).
adc r28,r28 ; Сложить r28 c самим собой(r28=r28+r28).
Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.
```

# Команда ADIW (Add Immediate to Word) – сложить непосредственное значение со словом

Описание:

Сложение непосредственного значения (0-63) с парой регистров и размещение результата в паре регистров. Команда работает с четырьмя верхними парами регистров, удобна для работы с регистрами-указателями.

Onepayuя: Rdh:Rdl <- Rdh:Rdl + K

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: ADIW Rdl,K  $dl \in \{24,26,28,30\}, 0 < K < 63$  PC < PC + 1

- **S** Для проверок со знаком.
- V Устанавливается, если в результате операции образуется переполнение дополнения до двух, в ином случае очищается.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$0000, в ином случае очищается.
- C Устанавливается, если есть перенос из MSB результата, в ином случае очищается.

#### Пример:

adiw r24, 1 ; Сложить 1 с r25:r24 adiw r30, 63 ; Сложить 63 с Z указателем (r31 : r30) Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2

#### Команда AND – выполнить логическое AND

#### Описание:

Выполнение логического AND между содержимым регистров Rd и Rr и помещение результата в регистр назначения Rd.

*Onepaция:* Rd <- Rd\*Rr

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: AND Rd,Rr 0 < d < 31, 0 < r < 31 PC <- PC + 1

- **S** Для проверок со знаком.
- V 0, очищен.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.

### Пример:

and r2, r3 ; Поразрядное and r2 и r3, результат поместить в r2 ldi r16, 1 ; Установить маску 0000 0001 в r16 and r2, r16; Выделить бит 0 в r2 Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

# Команда ANDI – выполнить логическое AND с непосредственным значением

Описание:

Выполнение логического AND между содержимым регистра Rd и константой и помещение результата в регистр назначения Rd.

*Onepaция:* Rd <- Rd\*K

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

ANDI Rd,K 16 < d < 31, 0 < K < 255 PC < -PC + 1

- **S** Для проверок со знаком.
- V Очищен.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.

#### Пример:

andi r17, \$0F; Очистить старший полубайт r17.

andi r18, \$10 ; Выделить бит 4 в r18.

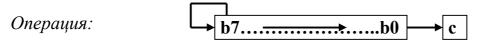
andi r19, \$AA; Очистить нечетные биты r19.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда ASR – арифметически сдвинуть вправо

Описание:

Выполнение сдвига всех битов Rd на одно место вправо. Состояние бита 7 не изменяется. Бит 0 загружается во флаг переноса (C) регистра состояния (SREG). Эта команда эффективно делит значение дополнения до двух на два без изменения знака. Флаг переноса может быть использован для округления результата.



Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

ASR Rd 0 < d < 31 PC <- PC + 1

- **S** Для проверок со знаком.
- V Устанавливается, если (N устанавливается и C очищается) или (N очищается, а C устанавливается). В ином случае очищается (при наличии значений N и C после сдвига).
- **N** Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.

- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.
- C Rd0. Устанавливается, если перед сдвигом были установлены LSB или Rd.

ldi r16, \$10 ; Загрузить \$10 (десятичное 16) в r16.

asr r16 ; r16 = r16/2.

ldi r17, \$FC ; Загрузить -4 в r17.

asr r17 ; r17 = r17/2.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда BCLR – очистить бит в регистре статуса (SREG)

Описание:

Очистка одного флага в регистре статуса.

Onepaция: SREG(s) <- 0

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BCLR s 0 < S < 7 PC <- PC + 1

I 0, если s = 7: в ином случае не изменяется.

**T** 0, если s = 6: в ином случае не изменяется.

**H** 0, если s = 5: в ином случае не изменяется.

**S** 0, если s = 4: в ином случае не изменяется.

V 0, если s = 3: в ином случае не изменяется.

**N** 0, если s = 2: в ином случае не изменяется.

**Z** 0, если s = 1: в ином случае не изменяется.

 ${\bf C}\ 0$ , если  ${\bf s}=0$ : в ином случае не изменяется.

Пример:

bclr 0 ; Очистить флаг переноса.

bclr 7 ; Запретить прерывания.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

# Команда BLD – загрузить содержимое Т флага регистра статуса (SREG) в бит регистра

Описание:

Копирование содержимого Т флага регистра статуса в бит b регистра Rd.

Onepaция:  $Rd(b) \leq T$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BLD Rd,b 0 < d < 31, 0 < b < 7 PC <- PC + 1

; Скопировать бит.

bst r1, 0 ; Сохранить бит 2 регистра r1 во флаге Т.

bld r0, 4; Загрузить Т в бит 4 регистра r0.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1

# **Команда BRBC** – перейти, если бит в регистре статуса очищен *Описание:*

Условный относительный переход. Тестируется один из битов регистра статуса и, если бит очищен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (PC - 64 < назначение < PC + 63). Параметр к является смещением относительно состояния счетчика программ и представлен в форме дополнения до двух.

*Onepayus*: If SREG(s) = 0 then PC < -PC + k + 1, else PC < -PC + 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

PC < -PC + k + 1

BRBC s, k 0 < s < 7, -64 < k < +63 PC <- PC + 1, если условия

не соблюдены.

Пример:

срі r20, 5 ; Сравнить r20 со значением 5. brbc 1, noteq ; Перейти, если флаг нуля очищен.

. . . . .

noteq: nop; Перейти по назначению (пустая операция). Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

# **Команда BRBS** – перейти, если бит в регистре статуса установлен *Описание:*

Условный относительный переход. Тестируется один из битов регистра статуса и, если бит установлен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (PC - 64 < назначение < PC + 63). Параметр k является смещением относительно счетчика программ и представлен в форме дополнения до двух.

Onepayuя: If SREG(s) = 1 then  $PC \leftarrow PC + k + 1$ , else  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

PC < -PC + k + 1

BRBS s, k 0 < s < 7, -64 < k < +63 PC <- PC + 1, если условия

не соблюдены.

```
bst r0, 3 ;Загрузить Т битом 3 регистра r0. brbs 6,bitset ;Перейти, если бит Т установлен.
```

bitset: nop ; Перейти по назначению (пустая операция). Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

# Команда BRCC – перейти, если флаг переноса очищен

Описание:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага переноса (C) регистра статуса и, если бит очищен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (PC - 64 < назначение < PC + 63). Параметр k является смещением относительно состояния счетчика программ и представлен в форме дополнения до двух. (Команда эквивалентна BRBC 0,k.)

*Onepayus*: If C = 0 then PC < -PC + k + 1, else PC < -PC + 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

 $PC \leftarrow PC + k + 1$  -64 < k < +63  $PC \leftarrow PC + 1, ecлu$ 

условия не соблюдены.

Пример:

BRCC k

add r22, r23; Сложить r23 с r22. brcc nocarry; Перейти, если перенос очищен.

. . . . .

посатту: пор ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

## Команда BREQ – перейти если равно

Описание:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага нулевого значения (Z) регистра статуса и, если бит установлен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Если команда выполняется сразу после любой из команд СР, СРІ, SUB или SUBI, то переход произойдет, если двоичное число (со знаком или без знака) в Rd, равно двоичному числу в Rr. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (РС - 64 < назначение < РС + 63). Параметр к является смещением относительно

состояния счетчика программ и представлен в форме дополнения до двух. (Команда эквивалентна BRBS 1,k.)

One paus: If Rd = Rr (Z = 1) then PC < -PC + k + 1, else PC < -PC + 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

PC < -PC + k + 1

BREQ k -64 < k < +63 PC <- PC + 1, если условия не

соблюдены.

Пример:

 $cp\ r1$ , r0 ; Cpaвнить регистры <math>r1 и r0.

breq equal ; Перейти, если содержимое регистров

....; совпадает.

equal: nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

#### **Команда BRGE** – перейти, если больше или равно (с учетом знака) *Описание:*

Условный относительный переход. Тестируется бит флага знака (S) регистра статуса и, если бит очищен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Если команда выполняется сразу после выполнения любой из команд СР, СРІ, SUB или SUBI, то переход произойдет, если двоичное число со знаком, находящееся в Rd, больше или равно двоичному числу со знаком в Rr. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (РС - 64 < назначение < РС + 63). Параметр к является смещением. (Команда эквивалентна BRBC 4,k.)

*Onepauus*: If  $Rd \ge Rr$  (N $\oplus$ V = 0) then PC <- PC + k +1, else PC <- PC +1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRGE k -64 < k < +63 PC < -PC + k + 1

PC <- PC + 1, если условия

не соблюдены.

Пример:

cp r11, r12 ; Сравнить регистры r11 и r12.

brge greateq ; Перейти, если r11 >= r12(со знаком)

. . . . .

greateq: nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

# Команда BRHC – перейти, если флаг полупереноса очищен

Описание:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага полупереноса (H) регистра статуса и, если бит очищен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (PC - 64 < назначение < PC + 63). Параметр k является смещением. (Команда эквивалентна BRBC 5,k.)

One paus: If H = 0 then  $PC \leftarrow PC + k + 1$ , else  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRHC k -64 < k < +63 PC < - PC + k + 1

PC <- PC + 1, если условия не

соблюдены.

Пример:

brhc hclear ; Перейти, если флаг полупереноса очищен.

hclear: nop; Перейти по назначению (пустая операция). Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

# **Команда BRHS** – перейти, если флаг полупереноса установлен *Описание:*

Условный относительный переход. Тестируется бит флага полупереноса (H) регистра статуса и, если бит установлен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (PC - 64 < назначение < PC + 63). Параметр k является смещением относительно состояния счетчика программ и представлен в форме дополнения до двух. (Команда эквивалентна BRBS 5,k.)

Onepayuя: If H = 1 then  $PC \leftarrow PC + k + 1$ , else  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRHS k -64 < k < +63 PC < -PC + k + 1

PC <- PC + 1, если

условия не соблюдены.

Пример:

brhs hset ; Перейти, если флаг полупереноса

....; установлен.

hset: nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

# **Команда BRID** – перейти, если глобальное прерывание запрещено *Описание*:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага глобального прерывания (I) регистра статуса и, если бит сброшен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (РС - 64 << назначение < РС + 63). Параметр к является смещением относительно состояния счетчика программ и представлен в форме дополнения до двух. (Команда эквивалентна BRBC 7,k.)

One payus: If I = 0 then PC < -PC + k + 1, else PC < -PC + 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRID k -64 < k < +63 PC < - PC + k + 1

PC <- PC + 1, если условия

не соблюдены.

Пример:

brid intdis; Перейти, если глобальное .....; прерывание запрещено. intdis: nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

# **Команда BRIE** — перейти, если глобальное прерывание разрешено *Onucanue*:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага глобального прерывания (I) регистра статуса и, если бит установлен, то выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (PC64 < назначение < PC+63). Параметр к является смещением. (Команда эквивалентна BRBS 7,k.)

One payur: If I = 1 then  $PC \leftarrow PC + k + 1$ , else  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRIE k -64 < k < +63 PC < -PC + k + 1

PC <- PC + 1, если условия

не соблюдены.

Пример:

brie inten ; Перейти, если глобальное

....; прерывание разрешено.

inten: nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

### Команда BRLO – перейти, если меньше (без знака)

#### Описание:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага переноса (С) регистра статуса и, если бит установлен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Если команда выполняется сразу после любой из команд СР, СРІ, SUB или SUBI, то переход произойдет, если двоичное число без знака, находящееся в Rd, меньше двоичного числа без знака, находящегося в Rr. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (РС-64 < назначение < РС+63). Параметр к является смещением относительно состояния счетчика программ и представлен в форме дополнения до двух. (Команда эквивалентна BRBS 0,k.)

Onepayus: If Rd < Rr (C = 1) then PC < -PC + k + 1, else PC < -PC + 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRLO k -64 < k < +63 PC < -PC + k + 1

PC <- PC + 1, если условия

не соблюдены.

Пример:

```
eor r19, r19; Очистить r19.
loop: inc r19; Увеличить на 1 r19.
```

..... cpi r19, \$10 ; Сравнить r19 с \$10.

brlo loop ; Перейти, если r19 < \$10

; (без знака).

nop ; Выйти из петли (пустая операция).

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

# Команда BRLT – перейти, если меньше чем (со знаком)

#### Описание:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага знака (S) регистра статуса и, если бит установлен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Если команда выполняется сразу после выполнения любой из команд CP, CPI, SUB или SUBI, то переход произойдет, если двоичное число со знаком, находящееся в Rd, меньше двоичного числа со знаком, находящегося в Rr. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (PC - 64 < назначение < PC + 63). Параметр к является смещением относительно состояния счетчика программ и представлен в форме дополнения до двух. (Команда эквивалентна BRBS 4,k.)

*Onepayus*: If Rd < Rr ( $N \oplus V = 1$ ) then PC < -PC + k + 1, else PC < -PC + 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRLT k -64 < k < +63 PC < -PC + k + 1

PC <- PC + 1, если

условия не соблюдены.

Пример:

cp r16, r1 ; Сравнить r16 c r1. brlt less ; Перейти, если r16 < r1 ; (со знаком).

less nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

#### Команда BRMI – перейти, если минус

#### Описание:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага отрицательного значения (N) регистра статуса и, если бит установлен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (PC - 64 < назначение < PC + 63). Параметр к является смещением относительно состояния счетчика программ и представлен в форме дополнения до двух. (Команда эквивалентна BRBS r, k.)

Onepayus: If N = 1 then then  $PC \leftarrow PC + k + 1$ , else  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRMI k -64 < k < +63 PC < -PC + k + 1

PC < -PC + 1, если условия не

соблюдены.

Пример:

subi r18, 4 ; Вычесть 4 из r18.

brmi negative ; Перейти, если результат

....; отрицательный.

negative: nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

## Команда BRNE – перейти, если не равно

#### Описание:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага нулевого значения (Z) регистра статуса и, если бит очищен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Если команда выполняется

сразу после выполнения любой из команд CP, CPI, SUB или SUBI, то переход произойдет, если двоичное число со знаком или без знака, находящееся в Rd, не равно двоичному числу со знаком или без знака, находящемуся в Rr. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно значения счетчика программ (PC - 64 < назначение < PC + 63). Параметр k является смещением. (Команда эквивалентна BRBC 1,k.)

Onepayuя: If Rd  $\neq$  Rr (Z = 0) then then PC <- PC + k +1, else PC <- PC +1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRNE k -64 < k < +63 PC < -PC + k + 1

PC < -PC + 1, если условия не

соблюдены.

Пример:

eor r27, r27; Очистить r27.

loop: inc r27 ; Увеличить на 1 r27.

. . . . .

срі r27, 5 ; Сравнить r27 c 5.

brne loop ; Перейти, если r27 <> 5.

пор ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

### Команда BRPL – перейти, если плюс

#### Описание:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага отрицательного значения (N) регистра статуса и, если бит очищен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (PC-64 < назначение < PC+63). Параметр к является смещением относительно состояния счетчика программ и представлен в форме дополнения до двух. (Команда эквивалентна BRBC 2,k.)

Onepayuя: If N = 0 then then  $PC \leftarrow PC + k + 1$ , else  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRPL k -64 < k < +63 PC < - PC + k + 1

PC <- PC + 1, если

условия не соблюдены.

Пример:

subi r26, \$50 ; Вычесть \$50 из r26. brpl positive ; Перейти, если r26 ....; положителен.

positive: nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1 если, условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

# **Команда BRSH** — перейти, если равно или больше (без знака) *Описание:*

Условный относительный переход. Тестируется бит флага перехода (С) регистра статуса и, если бит очищен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Если команда выполняется непосредственно после выполнения любой из команд СР, СРІ, SUB или SUBI переход произойдет если, и только если, двоичное число без знака, представленное в Rd, больше или равно двоичному числу без знака, представленному в Rr. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (РС-64 < назначение < РС+63). Параметр к является смещением относительно состояния счетчика программ и представлен в форме дополнения до двух. (Команда эквивалентна BRBC 0,k.)

One page 1: If Rd > Rr (C = 0) then then PC <- PC + k +1, else PC <- PC +1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRSH k -64 < k < +63 PC < - PC + k + 1

PC <- PC + 1, если условия

не соблюдены

Пример:

subi r19, 4 ; Вычесть 4 из r19. brsh highsm ; Перейти, если r2 >= 4 ..... ; (без знака).

highsm: пор ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов:1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

## Команда BRTC – перейти, если флаг Т очищен

Описание:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага пересылки (T) регистра статуса и, если бит очищен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (PC-64 < назначение < PC+63). Параметр к является смещением относительно состояния счетчика программ. (Команда эквивалентна BRBC 6,k.)

Onepayuя: If T = 0 then then  $PC \leftarrow PC + k + 1$ , else  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRTC k -64 < k < +63 PC < - PC + k + 1

PC <- PC + 1, если условия не

соблюдены.

Пример:

bst r3, 5 ; Сохранить бит 5 регистра r3

;во флаге Т.

brtc tclear ; Перейти, если этот бит очищен.

. . . . .

tclear: nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

## Команда BRTS – перейти, если флаг Т установлен

Описание:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага пересылки (Т) регистра статуса и, если бит установлен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (РС - 64 < назначение < РС+63). Параметр к является смещением относительно состояния счетчика программ и представлен в форме дополнения до двух. (Команда эквивалентна BRBC 6,k).

One paus: If T = 1 then then PC < -PC + k + 1, else PC < -PC + 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRTS k -64 < k < +63 PC < -PC + k + 1

PC <- PC + 1, если условия

не соблюдены.

Пример:

bst r3, 5; Сохранить бит 5 регистра r3

;во флаге Т.

brts tset; Перейти, если этот бит установлен.

. . . . .

tset: nop ; Пустая операция

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

# Команда BRVC – перейти, если переполнение очищено

Описание:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага переполнения (V) регистра статуса и, если бит очищен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Данная команда выполняет переход

в любом направлении относительно состояния счетчика программ (PC-64 < назначение < PC+63). Параметр k является смещением относительно состояния счетчика программ и представлен в форме дополнения до двух. (Команда эквивалентна BRBC 3,k.)

Onepayuя: If V = 0 then then  $PC \leftarrow PC + k + 1$ , else  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRVC k -64 < k < +63 PC < - PC + k + 1

PC <- PC + 1, если условия не

соблюдены.

#### Пример:

add r3, r4 ; Сложить r4 с r3. brvc noover ; Перейти, если нет переполнения.

. . . .

noover: nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

# Команда BRVS – перейти, если переполнение установлено

Описание:

Условный относительный переход. Тестируется бит флага переполнения (V) регистра статуса и, если бит установлен, выполняется переход относительно состояния счетчика программ. Данная команда выполняет переход в любом направлении относительно состояния счетчика программ (РС- 64 < назначение < РС+63). Параметр k является смещением.

Onepayus: If V = 1 then then  $PC \leftarrow PC + k + 1$ , else  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BRVS k -64 < k < +63 PC < - PC + k + 1

PC <- PC + 1, если условия не

соблюдены

## Пример:

add r3, r4 ; Сложить r4 с r3.

brvs overfl ; Перейти, если есть переполнение.

overfl: nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, 2 при соблюдении правильных условий.

# Команда BSET – установить бит в регистре статуса (SREG)

Описание:

Установка одного флага в регистре статуса.

Oперация: SREG(s)<-- 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BSET s 0 < s < 7 PC <- PC + 1

1, если s = 7: в ином случае не изменяется.

1, если s = 6: в ином случае не изменяется.

1, если s = 5: в ином случае не изменяется.

1, если s = 4: в ином случае не изменяется.

1, если s = 3: в ином случае не изменяется.

1, если s = 2: в ином случае не изменяется.

1, если s = 1: в ином случае не изменяется.

1, если s = 0: в ином случае не изменяется.

### Пример:

bset 6 ; Установить флаг Т.

bset 7; Разрешить прерывание.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

# Команда BST – переписать бит из регистра во флаг T регистра статуса (SREG)

Описание:

Перезапись бита b из регистра Rd в флаг T регистра статуса (SREG).

Oперация: T <-- Rd(b)

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

BST Rd,b 0 < d < 31, 0 < b < 7 PC <- PC + 1

# T 0, если бит b в Rd очищен: в ином случае устанавливается 1.

Пример:

; Копировать бит.

bst r1, 2 ; Сохранить бит 2 регистра r1 во флаге T.

bld r0, 4; Загрузить Т в бит 4регистра r0.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

# Команда CALL – выполнить длинный вызов подпрограммы

Описание:

Вызов подпрограммы из памяти программ. Адрес возврата (к команде после CALL) сохраняется в стеке. (См. также RCALL).

Oперация: PC <-- k

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CALL k = 0 < k < 64K PC < -- kSTACK < -- PC + 2.

SP <-- SP-2, (2 байта, 16 битов).

mov r16, r0 ; Копировать r0 в r16.

call check ; Вызвать подпрограмму.

пор ; Продолжать (пустая операция).

. . .

check: срі r16, \$42 ; Проверить, содержит ли r16

;заданное значение.

breq error ; Перейти, если содержит.

ret ; Вернуться из подпрограммы.

. . .

error: rjmp error ; Бесконечная петля.

Слов: 2 (4 байта). Циклов: 4.

### Команда СВІ – очистить бит в регистре ввода/вывода

Описание:

Очистка определенного бита в регистре ввода/вывода. Команда работает с младшими 32 регистрами ввода/вывода – адреса с 0 по 31.

*Onepayuя:* I/O(P,b) < -- 0

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CBI P,b 0 < P < 31, 0 < b < 7 PC <-- PC + 1

Пример:

cbi \$12, 7 ; Очистить бит 7 в Порте D.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2.

# Команда CBR – очистить биты в регистре

Описание:

Очистка определенных битов регистра Rd. Выполняется логическое AND между содержимым регистра Rd и комплементом постоянной K.

*Onepaция:* Rd <-- Rd \* (\$FF - K)

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CBR Rd 16 < d < 31, 0 < K < 255 PC < -PC + 1

**S** Для проверок со знаком ,  $S = N \oplus V$ .

**V** 0.

N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.

**Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.

Пример:

cbr r16, \$F0 ; Очистить старший полубайт регистра r16.

cbr r18, 1 ; Очистить бит в r18.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда CLC – очистить флаг переноса в регистре статуса (SREG)

Описание:

Очистка флага переноса (C) в регистре статуса (SREG).

*Onepaция:* C <-- 0

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CLC HeT  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Пример:

add r0, r0; Сложить r0 с самим собой. clc; Очистить флаг переноса.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

# Команда CLH – очистить флаг полупереноса в регистре статуса (SREG)

Описание:

Очистка флага полупереноса (H) в регистре статуса (SREG).

*Oперация:* H <-- 0

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CLH HeT  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Пример:

clh ; Очистить флаг полупереноса.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

# Команда CLI – очистить флаг глобального прерывания в регистре статуса (SREG)

Описание:

Очистка флага глобального прерывания (I) в регистре статуса (SREG).

*Onepaция:* I <-- 0

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CLI HET  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Пример:

cli ; Запретить прерывания.

in r11, \$16 ; Считать порт В.

sei ; Разрешить прерывания.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

# Команда CLN – очистить флаг отрицательного значения в регистре статуса (SREG)

Описание:

Очистка флага отрицательного значения (N) в регистре статуса (SREG). *Операция*: N < --0

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CLN Her  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Пример:

add r2, r3; Сложить r3 c r2.

cln ; Очистить флаг отрицательного значения.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда CLR – очистить регистр

Описание:

Очистка регистра. Команда выполняет Exclusive OR содержимого регистра с самим собой. Это приводит к очистке всех битов регистра.

*Onepaция:* Rd <-- Rd ^Rd

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CLR Rd 0 < d < 31 PC <- PC + 1

**S** 0, очищен.

**V** 0, очищен.

**N** 0, очищен.

**Z** 1, устанавливается.

Пример:

clr r18 ; Очистить r18.

loop: inc r18 ; Увеличить на 1 r18.

. . .

срі r18, \$50 ; Сравнить r18 с \$50.

brne loop

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда CLS – счистить флаг знака

Описание:

Очистка флага знака (S) в регистре статуса (SREG).

*Onepaция:* S <-- 0

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CLS  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Пример:

add r2, r3; Сложить r3 с r2.

cls ; Очистить флаг знака.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда CLT – очистить Т флаг

Описание:

Очистка флага пересылки (T) в регистре статуса (SREG).

*Операция:* T <-- 0

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CLT HeT  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Пример:

clt ; Очистить Т флаг

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда CLV – счистить флаг переполнения

Описание:

Очистка флага переполнения (V) в регистре статуса (SREG).

*Oперация:* V <-- 0

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CLV HeT  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Пример:

add r2, r3; Сложить r3 с r2.

clv ; Очистить флаг переполнения.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда CLZ – очистить флаг нулевого значения

Описание:

Очистка флага нулевого значения (Z) в регистре статуса (SREG).

*Операция:* Z <-- 0

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CLZ HeT  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Пример:

add r2, r3; Сложить r3 c r2.

clz ; Очистить флаг нулевого значения.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда СОМ – выполнить дополнение до единицы

Описание:

Команда выполняет дополнение до единицы (реализует обратный код) содержимого регистра Rd.

Oперация: Rd <-- \$FF \* Rd

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

COM Rd 0 < d < 31 PC <- PC + 1

В регистре статуса (SREG):

- **S** Для проверок со знаком,  $S = N \oplus V$ .
- **V** 0, очищен.
- **N** Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.
- С 1, установлен.

Пример:

```
com\ r4 ; Выполнить дополнение до единицы r4. breq zero ; Перейти, если ноль.
```

. .

zero: nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда СР – сравнить

Описание:

Команда выполняет сравнение содержимого двух регистров Rd и Rr. Содержимое регистров не изменяется. После этой команды можно выполнять любые условные переходы.

*Onepaция:* Rd = Rr

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

Cp Rd, Rr 0 < d < 31, 0 < r < 31 PC <- PC + 1

В регистре статуса (SREG):

- Н Устанавливается, если есть заем из бита 3, в ином случае очищается.
- **S** Для проверок со знаком.
- V Устанавливается, если в результате операции образуется переполнение дополнения до двух, в ином случае очищается.
- **N** Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.
- С Устанавливается, если абсолютное значение Rr больше абсолютного значения Rd, в ином случае очищается.

Пример:

```
cp r4, r19 ; Сравнить r4 с r19.
brne noteq ; Перейти, если r4 <> r19.
```

. . .

noteq: nop

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда СРС - сравнить с учетом переноса

#### Описание:

Команда выполняет сравнение содержимого двух регистров Rd и Rr и учитывает также предшествовавший перенос. Содержимое регистров не изменяется. После этой команды можно выполнять любые условные переходы.

Oперация: Rd = Rr = C

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CPC Rd, Rr 0 < d < 31, 0 < r < 31 PC <- PC + 1

- Н Устанавливается, если есть заем из бита 3, в ином случае очищается.
- **S** Для проверок со знаком.
- V Устанавливается, если в результате операции образуется переполнение дополнения до двух, в ином случае очищается.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Предшествующее значение остается неизменным, если результатом является ноль, в ином случае очищается.
- С Устанавливается, если абсолютное значение Rr плюс предшествовавший перенос больше абсолютного значения Rd, в ином случае очищается.

Пример:

; Сравнить r3 : r2 c r1 : r0.

cp r2, r0 ; Сравнить старший байт. cpc r3, r1 ; Сравнить младший байт.

brne noteq ; Перейти, если не равно.

. . .

noteq: nop

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда СРІ – сравнить с константой

#### Описание:

Команда выполняет сравнение содержимого регистра Rd с константой. Содержимое регистра не изменяется. После этой команды можно выполнять любые условные переходы.

Oперация: Rd = K

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

CPI Rd, K 16 = < d = < 31, 0 < K < 255 PC < - PC + 1

- Н Устанавливается, если есть заем из бита 3, в ином случае очищается.
- **S** Для проверок со знаком.
- V Устанавливается, если в результате операции образуется переполнение дополнения до двух, в ином случае очищается.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.
- С Устанавливается, если абсолютное значение К больше абсолютного значения Rd, в ином случае очищается.

```
срі r19, 3 ; Сравнить r19 с 3.
brne error ; Перейти, если r4 <> 3.
. . . .
error: nop
Слов: 1 (2 байта), Циклов: 1.
```

#### Команда CPSE – сравнить и пропустить, если равно

Описание:

Команда выполняет сравнение содержимого регистров Rd и Rr и пропускает следующую команду, если Rd = Rr.

```
Onepauus: If Rd = Rr then PC <-- PC + 2 (or 3), else PC <-- PC +1 Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:
```

```
СРЅЕ Rd,Rr 0 < d < 31, 0 < r < 31 0 < r < 7 0 < r < 8 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r < 9 0 < r <
```

### Пример:

```
inc r4 ; Увеличить на 1 r4.

cpse r4, r0 ; Сравнить r4 c r0.

neg r4 ; Выполнить, если r4 <> r0.

nop ; Продолжать (пустая операция).

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.
```

### Команда DEC – декрементировать

Описание:

Вычитание единицы из содержимого регистра Rd и размещение результата в регистре назначения Rd. Флаг переноса регистра статуса данной командой не активируется, что позволяет использовать команду DEC при

реализации счетчика циклов для вычислений с повышенной точностью. При обработке чисел без знаков за командой могут выполняться переходы BREQ и BRNE. При обработке значений в форме дополнения до двух допустимы все учитывающие знак переходы.

*Onepaция:* Rd <-- Rd - 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

DEC Rd 0 < d < 31 PC <- PC + 1

- **S** Для проверок со знаком,  $S = N \oplus V$ .
- V Устанавливается, если в результате получено переполнение дополнения до двух, в ином случае очищается. Переполнение дополнения до двух будет, если и только если перед операцией содержимое Rd было \$80.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается. *Пример*:

```
ldi r17, $10 ; Загрузить константу в r17.
loop: add r1, r2 ; Сложить r2 c r1.
dec r17 ; Уменьшить на 1 r17.
brne loop ; Перейти, если r17 <> 0.
nop ; Продолжать (пустая операция).
```

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## ELPM – расширенная загрузка данных из памяти

Описание

Загружает один байт из адресного пространства памяти программ в регистр общего назначения Rd. Адрес ячейки памяти, к которой производится обращение, в регистре ввода/вывода RAMPZ и индексном регистре Z.

Oперация: R0 <- (RAMPZ:Z)

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

ELPM HeT  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Пример:

```
ldi ZL, byte3(Table_1<<1) ; Initialize Z pointer
out RAMPZ, ZL
ldi ZH, byte2(Table_1<<1)
ldi ZL, byte1(Table 1<<1)</pre>
```

elpm r16, Z+ ; Загрузка константы из ячейки ; памяти программ, указанной регистрами RAMPZ: Z.

. . .

Table 1:

.dw 0x3738 ; 0x38 адресуется, когда ZLSB = 0.

; 0x37 agpecyercs, korga ZLSB = 1.

. . .

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 3.

#### Команда EOR – выполнить исключающее ИЛИ

Описание:

Выполнение логического исключающего OR между содержимым регистра Rd и регистром Rr и помещение результата в регистр назначения Rd.

Oперация: Rd <- Rd  $\oplus$  Rr

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

EOR Rd,Rr 0 < d < 31,0 < r < 31 PC <- PC + 1

**S** Для проверок со знаком,  $S = N \oplus V$ .

**V** 0.

N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.

**Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.

Пример:

eor r4, r4 ; Очистить r4.

eor r0, r22; Поразрядно выполнить исключающее ИЛИ ; между r0 и r22.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## FMUL – умножение дробных беззнаковых чисел

Описание:

Осуществляет умножение беззнаковых дробных чисел, находящихся в регистрах Rd и Rr. Формат чисел -1.7 (старший разряд - целая часть, 7 младших - дробная). Результат умножения (формат результата -2.14) сдвигается влево на один разряд для приведения к формату 1.15 и заносится в регистровую пару R1: R0.

*Onepayuя*:  $R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

FMUL Rd,Rr 0 < d < 31,0 < r < 31 PC <- PC + 1

С Устанавливается, если 15 бит результата установлен до сдвига влево.

**Z** Устанавливается, если результат равен нулю.

fmul r23, r22 ; Умножить r23 и r22? movw r22, r0 ; копировать результат обратно в r23:r22/ Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2.

#### FMULS – умножение дробных чисел со знаком

Описание:

Осуществляет умножение дробных чисел со знаком, находящихся в регистрах Rd и Rr. Формат чисел -1.7 (старший разряд - целая часть, 7 младших разрядов - дробная). Результат умножения (формат результата -2.14) сдвигается влево на один разряд для приведения к формату 1.15 и заносится в регистровую пару R1:R0.

*Onepayuя:*  $R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

FMULS Rd,Rr 0 < d < 31, 0 < r < 31 PC <- PC + 1

С Устанавливается, если 15 бит результата установлен до сдвига влево.

**Z** Устанавливается, если результат равен нулю.

Пример:

fmuls r23,r22; Умножение чисел со знаком в r23 и; r22 в формате (1.7), результат в формате (1.15). movw r23:r22,r1:r0; Копирование результата в r23:r22. Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

# FMULSU – умножение дробного беззнакового числа и дробного числа со знаком

Описание:

Осуществляет умножение дробных чисел, находящихся в регистрах Rd (число со знаком) и Rr (число без знака). Формат чисел — 1.7 (старший разряд — целая часть, 7 младших разрядов — дробная). Результат умножения (формат результата соответствует 2.14) сдвигается влево на один разряд для приведения к формату 1.15 и заносится в регистровую пару R1:R0.

 $One payus: R1:R0 <- Rd \times Rr$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

FMULS Rd,Rr 0 < d < 31, 0 < r < 31 PC <- PC + 1

С Устанавливается, если 15 бит результата установлен до сдвига влево.

**Z** Устанавливается, если результат равен нулю.

fmulsu r23, r22 ; Умножение чисел в r23 и r22.` movw r22, r0 ; Копирование результата в r23:r22. Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2.

#### Команда ICALL – вызвать подпрограмму косвенно

#### Описание:

Косвенный вызов подпрограммы, указанной регистром-указателем Z (16 разрядов) в регистровом файле. Регистр-указатель Z (16-разрядного формата) позволяет вызвать подпрограмму из текущей секции пространства памяти программ объемом 64К слов (128 Кбайт).

Oперация: PC(15-0) < -- Z(15-0)

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: Стек:

ICALL нет См. Операция STACK<--- PC + 1

SP<-- SP-2, (2 байта,

16 битов)

#### Пример:

mov r30, r0; Задать смещение. icall; Вызвать подпрограмму (адрес указан в r31:r30). Слов: 1 (2 байта). Циклов: 3.

### Команда ІЈМР – перейти косвенно

#### Описание:

Выполняется косвенный переход по адресу, указанному регистром-указателем Z (16 разрядов) в регистровом файле. Регистр-указатель Z (16-разрядного формата) позволяет вызвать подпрограмму из текущей секции пространства памяти программ объемом 64К слов (128 Кбайт).

*Onepaция:* PC<-- Z(15-0)

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

ІЈМР нет См. Операция

### Пример:

mov r30, r0; Задать смещение.

ijmp ; Перейти по адресу, указанному r31 : r30.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2.

# Команда LD – загрузить косвенно из ОЗУ в регистр с использованием индекса X

#### Описание:

Загружает косвенно один байт из ОЗУ в регистр. Положение байта в ОЗУ указывается 16-разрядным регистром-указателем X в регистровом файле. Обращение к памяти ограничено текущей страницей объемом 64 Кбайта.

Для обращения к другой странице ОЗУ необходимо изменить регистр RAMPX в I/O области. Регистр-указатель X может остаться неизменным после выполнения команды, но может быть инкрементирован или декрементирован. Использование регистра-указателя X обеспечивает удобную возможность обращения к матрицам, таблицам, указателю стека. Использование X-указателя:

	Операция:	Комментарий:	
(i)	$Rd \leq(X)$		Х: Неизменен
(ii)	$Rd \leq(X)$	X < X + 1	Х: Инкрементирован впоследствии
(iii)	X < X - 1	$Rd \leq(X)$	Х: Предварительно декрементирован
	Синтаксис:	Операнды:	Счетчик программ:
(i)	LD Rd,X	0 < d < 31	PC< + 1
(ii)	LD Rd,X+	0 < d < 31	PC< + 1
(iii)	LDD Rd,-X	0 < d < 31	PC< + 1
Прим	іер:		
clr	r27 ;Очистить старший байт X.		
ldi	r26, \$20	;Установить \$	20 в младший байт Х.
ld	r0, X+ ;	Загрузить в	r0 содержимое SRAM по
		;адресу \$20 (	Х постинкрементируется).
ld	r1, X	;Загрузить в	rl содержимое SRAM по
		;адресу \$21.	
	•		23 в младший байт Х.
ld		<b>-</b> -	r2 содержимое SRAM по
		;адресу \$23.	_
ld	r3, -X	<del>-</del>	r3 содержимое SRAM по
	1 (2 ~ " )	=	Х преддекрементируется).
Слов	: 1 (2 байта).	Циклов: 2.	

# **Команда IN – загрузить данные из порта ввода/вывода в регистр** *Описание:*

Команда загружает данные из пространства входа/выхода (порты, таймеры, регистры конфигурации и т.п.) в регистр Rd регистрового файла. *Операция:* Pd <-- P

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: IN Rd,P 0 < d < 31, 0 < P < 63 PC<-- PC+ 1

### Пример:

in r25, \$16; Считать порт В. срі r25, 4; Сравнить считанное значение с константой. breq exit ; Перейти, если r25=4.

exit: nop ; Перейти по назначению (пустая операция).

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

#### Команда INC – инкрементировать

Описание:

Добавление единицы к содержимому регистра Rd и размещение результата в регистре назначения Rd. Флаг переноса регистра статуса данной командой не активируется, что позволяет использовать команду INC при реализации счетчика циклов для вычислений с повышенной точностью. При обработке чисел без знаков за командой могут выполняться переходы BREQ и BRNE. При обработке значений в форме дополнения до двух допустимы все учитывающие знак переходы.

*Onepauuя:* Rd <-- Rd + 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

0 < d < 31INC Rd PC < -PC + 1

- **S** Для проверок со знаком,  $S = N \oplus V$ .
- V Устанавливается, если в результате получено переполнение дополнения до двух, в ином случае очищается. Переполнение дополнения до двух будет, если перед операцией содержимое Rd было \$7F.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.

Пример:

; Очистить r22. clr r22

inc r22 ; Увеличить на 1 r22. loop:

срі r22, \$4F; Сравнить r22 с \$4F.

brne loop ; Перейти, если не равно.

nop ; Продолжать (пустая операция).

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда ЈМР – перейти

Описание:

Выполняется переход по адресу внутри всего объема (4М слов) памяти программ. См. также команду RJMP.

*Onepauuя*: Pd<-- k

Операнды: Счетчик программ: Синтаксис:

-2047 < k < 4MPC<-- k JMP k

```
mov r1, r0; Копировать r0 в r1.

jmp farplc; Безусловный переход.

. . .

farplc: nop; Пустая операция.

Слов: 2 (4 байта). Циклов: 3.
```

# Команда LD – загрузить косвенно из CO3У в регистр с использованием индекса X

#### Описание:

Загружает косвенно один байт из СОЗУ в регистр. Положение байта в СОЗУ указывается 16-разрядным регистром-указателем X в регистровом файле. Обращение к памяти ограничено текущей страницей объемом 64 Кбайта. Для обращения к другой странице СОЗУ необходимо изменить регистр RAMPX в I/O области. Регистр-указатель X может остаться неизменным после выполнения команды, но может быть инкрементирован или декрементирован. Использование регистра-указателя X обеспечивает удобную возможность обращения к матрицам, таблицам, указателю стека. Использование X-указателя:

	Операция:	Комментарий:	
(i)	$Rd \leq(X)$		Х: Неизменен
(ii)	$Rd \leq(X)$	X < X + 1	Х: Инкрементирован впоследствии
(iii)	X < X - 1	Rd < (X)	Х: Предварительно декрементирован
	Синтаксис:	Операнды:	Счетчик программ:
(i)	LD Rd,X	0 < d < 31	PC<+ 1
(ii)	LD Rd,X+	0 < d < 31	PC<+ 1
(iii)	LDD Rd,-X	0 < d < 31	PC<+ 1
При	мер:		
clr	r27	;Очистить стар	оший байт X.
ldi	r26, \$20	;Установить \$2	20 в младший байт Х.
ld	r0, X+	;Загрузить в з	rO содержимое SRAM по
		;адресу \$20 (	Х постинкрементируется).
ld	r1, X	<u>-</u>	c1 содержимое SRAM по
	·	;адресу \$21.	-
ldi	r26, \$23	;Установить \$2	23 в младший байт Х.
ld	r2, X	;Загрузить в 1	c2 содержимое SRAM по
		;адресу \$23.	-
ld		<del>-</del> -	c3 содержимое SRAM по
		<del>=</del>	х преддекрементируется).
Сло	в: 1 (2 байта).	Циклов: 2.	

# Команда LD (LDD) – загрузить косвенно из ОЗУ в регистр с использованием индекса Y

#### Описание:

Загружает косвенно, со смещением или без смещения, один байт из ОЗУ в регистр. Положение байта в ОЗУ указывается 16-разрядным регистромуказателем У в регистровом файле. Обращение к памяти ограничено текущей страницей объемом 64 Кбайта. Для обращения к другой странице ОЗУ необходимо изменить регистр RAMPY в І/О области. Региструказатель У может остаться неизменным после выполнения команды, но может быть инкрементирован или декрементирован. Использование регистра-указателя У обеспечивает удобную возможность обращения к матрицам, таблицам, указателю стека.

### Использование Ү-указателя:

Операция:	Комментарий	ĭ:
(i) Rd < (Y)		Ү: Неизменен
(ii) Rd < (Y)	Y < Y + 1	Ү: Инкрементирован впоследствии
(iii) Y < Y + 1	$Rd \leq(Y)$	Ү: Предварительно декрементирован
(iv) Rd < (Y +	q)	Ү: Неизменен, q: смещение

Синтаксис:	Операнды:	Счетчик программ:
(i) LD Rd,Y	0 < d < 31	PC< + 1
(ii) LD Rd,Y+	0 < d < 31	PC< + 1
(iii) LD Rd,-Y	0 < d < 31	PC< + 1
(iv) LDD Rd, $Y + q$	0 < d < 31	PC< + 1
	0 < q < 63	

#### Пример:

```
clr r29
              ;Очистить старший байт Ү.
ldi r28, $20
              ;Установить $20 в младший байт Ү.
              ;Загрузить в r0 содерж. SRAM по адресу
ld r0, Y+
              ;$20 (У постинкрементируется).
              ;Загрузить в r1 содержимое SRAM по
ld r1, Y
              ;адресу $21.
ldi r28, $23
              ;Установить $23 в младший байт Ү.
   r2, Y
ld
              ;Загрузить в r2 содержимое SRAM по
              ;адресу $23.
1d r3, -Y
              ;Загрузить в r3 содержимое SRAM по
              ;адресу $22 (У преддекрементируется).
ldd r4, Y+2
               ;Загрузить в r4 содержимое SRAM по
               ;адресу $24.
```

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2.

# Команда LD (LDD) – загрузить косвенно из ОЗУ в регистр с использованием инлекса Z

#### Описание:

Загружает косвенно, со смещением или без смещения, один байт из ОЗУ в регистр. Положение байта в ОЗУ указывается 16-разрядным регистромуказателем Z в регистровом файле. Обращение к памяти ограничено текущей страницей объемом 64 Кбайта. Для обращения к другой странице ОЗУ необходимо изменить регистр RAMPZ в I/O области. Региструказатель Z может остаться неизменным после выполнения команды, но может быть инкрементирован или декрементирован. Эта особенность очень удобна при использовании регистра-указателя Z в качестве указателя стека, однако, поскольку регистр-указатель Z может быть использован для косвенного вызова подпрограмм, косвенных переходов и табличных преобразований, более удобно использовать в качестве указателя стека регистры-указатели X и Y. Об использовании указателя Z для просмотра таблиц в памяти программ см. команду LPM.

Использование Z-указателя:

	Операция:	Комментарий	·
(i)	Rd < ()		Z: Неизменен
(ii)	$Rd \leq(Z)$	Z < Z + 1	Z: Инкрементирован впоследствии
(iii)	Z < Z + 1	$Rd \leq(Z)$	Z: Предварительно декрементирован
(iv)	Rd < (Z + q)		Z: Неизменен, q: смещение

Синтаксис:	Операнды:	Счетчик программ:
(i) LD Rd,Z	0 < d < 31	PC< + 1
(ii) LD Rd,Z+	0 < d < 31	PC< + 1
(iii) LD Rd,-Z	0 < d < 31	PC< + 1
(iv) LDD Rd, $Z + q$	0 < d < 31	PC<+ 1
	0 < q < 63	

#### Пример:

```
;Очистить старший байт Z.
clr r31
ldi r30, $20
              ;Установить $20 в младший байт Z.
1d r0, Z+
              ;Загрузить в r0 содерж. SRAM по адресу
              ;$20 (Z постинкрементируется).
              ;Загрузить в r1 содержимое SRAM по
ld
   r1, Y
              ;адресу $21.
ldi r30, $23
              ;Установить $23 в младший байт Z.
ld r2, Z
              ;Загрузить в r2 содержимое SRAM по
              ;адресу $23.
```

```
ld r3, -Z ;Загрузить в r3 содержимое SRAM по ;адресу $22 (Z преддекрементируется).
ldd r4, Z+2 ;Загрузить в r4 содержимое SRAM по ;адресу $24.
```

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2.

### Команда LDI – загрузить непосредственное значение

Описание:

Загружается 8-разрядная константа в регистр от 16 по 31 *Операция*: Rd <-- K

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: LDI Rd, K 16 < d < 31, 0 < K < 255 PC< --+1 Пример: clr r31 ; Очистить старший байт Z. ldi r30, \$F0 ; Установить \$F0 в младший байт Z.

101 130, 910 , установить 910 в младшии одит 2.

1рт ; Загрузить константу из программы.

; Память отмечена в Z.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда LDS – загрузить непосредственно из СОЗУ

Описание:

Выполняется загрузка одного байта из СОЗУ в регистр. Можно использовать 16-разрядный адрес. Обращение к памяти ограничено текущей страницей СОЗУ объемом 64 Кбайта. Команда LDS использует для обращения к памяти выше 64 Кбайт регистр RAMPZ.

*Onepaция:* Rd <-- (k)

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

LDS Rd,k 0 < d < 31,0 < k < 65535 PC< -- + 2

Пример:

lds r2, \$FF00; Загрузить r2 содержимым SRAM; по адресу \$FF00.

add r2, r1 ; Сложить r1 c r2. sts \$FF00, r2 ; Записать обратно.

Слов: 2 (4 байта). Циклов: 3.

## Команда LPM – загрузить байт памяти программ

Описание:

Загружает один байт, адресованный регистром Z, в регистр 0 (R0). Команда обеспечивает эффективную загрузку констант или выборку постоянных данных. Память программ организована из 16-разрядных слов, и младший значащий разряд (LSB) 16-разрядного указателя Z выбирает

или младший (0) или старший (1) байт. Команда может адресовать первые 64 Кбайта (32 Кслов) памяти программ.

Операция: Комментарий:

R0 < -- (Z) Z указывает на память программ

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

LPM HeT PC < --+1

#### Пример:

clr r31 ; Очистить старший байт Z.
ldi r30, \$F0 ; Установить младший байт Z.
lpm ; Загрузить константу из памяти
; программ, отмеченную Z (r31 : r30).

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 3.

#### Команда LSL – логически сдвинуть влево

Описание:

Выполнение сдвига всех битов Rd на одно место влево. Бит 0 стирается. Бит 7 загружается во флаг переноса (С) регистра состояния (SREG). Эта команда эффективно умножает на два значение величины без знака.

Операция:



Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: LSL Rd 0 < d < 31 PC < -- PC + 1

**H:** Rd3.

**S:** N⊕V, для проверок со знаком.

V: №С (Для N и C после сдвига). Устанавливается, если (N устанавливается и С очищается) или (N очищается, а С устанавливается). В ином случае очищается (при наличии значений N и C после сдвига).

**N:** Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.

**Z:** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.

**C:** Rd7 Устанавливается, если перед сдвигом был установлен MSB регистра Rd, в ином случае очищается.

## Пример:

add r0, r4; Сложить r4 c r0. lsl r0; Умножить r0 на 2.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда LSR – логически сдвинуть вправо

Описание:

Сдвиг всех битов Rd на одно место вправо. Бит 7 очищается. Бит 0 загружается во флаг переноса (С) регистра состояния (SREG). Эта команда эффективно делит на два число без знака. Флаг переноса может быть использован для округления результата.

Oперация:  $\mathbf{0} \longrightarrow [$ 

$$0 \longrightarrow b7....b0 \longrightarrow c$$

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

LSR Rd 0 < d < 31 PC <- PC + 1

- **S**  $N \oplus V$ , для проверок со знаком.
- V №С (Для N и C после сдвига). Устанавливается, если (N устанавливается и С очищается) или (N очищается, а С устанавливается). В ином случае очищается (при наличии значений N и C после сдвига).

**N** 0.

- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается
- C Rd0. Устанавливается, если перед сдвигом был установлен LSB регистра Rd, в ином случае очищается.

Пример:

```
add r0, r4; Сложить r4 c r0.
lsr r0; Разделить r0 на 2.
```

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда MOV - копировать регистр

Описание:

Команда создает копию одного регистра в другом регистре. Исходный регистр Rr остается неизменным, в регистр назначения Rd загружается копия содержимого регистра.

Onepauuя: Rr. Rd <-- Rr

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

MOV Rd,Rr 0 < d < 31, 0 < r < 31 PC<--+ 1

Пример:

mov r16, r0 ; Копировать r0 в r16. call check ; Вызвать подпрограмму.

. . .

check: cpi r16, \$11; Сравнить r16 с \$11.

. . .

ret ; Вернуться из подпрограммы.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

#### Команда MOVW – копировать регистровую пару

Описание:

Команда копирует регистровую пару Rr+1:Rr в регистровую пару Rd+1:Rd. Содержание исходной регистровой пары Rr+1:Rr остается неизменным.

*Onepayuя:* Rd+1: Rd <-- Rr+1:Rr

```
Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: MOVW Rd+1:Rd,Rr+1:Rr 0 < d < 31, 0 < r < 31 PC<--+ 1 Пример: копировать r1:r0 в r17:r16. саll check ; Вызвать подпрограмму.
```

```
сап спеск ; вызвать подпрограмму.

check: cpi r16, $11 ; Сравнить r16 c $11.

cpi r17, $32 ; Сравнить r17 c $32.

ret ; Вернуться из подпрограммы.
```

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

#### Команда MUL – перемножить

Описание:

Команда перемножает две 8-разрядные величины без знаков с получением 16-разрядного результата без знака. Множимое и множитель — два регистра Rr и Rd соответственно. 16-разрядное произведение размещается в регистрах R1 (старший байт) и R0 (младший байт). Отметим, что если в качестве множимого и множителя выбрать R0 или R1, то результат заместит прежние значения сразу после выполнения операции.

 $One payun: R1,R0 < --- Rr \times Rd$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:  $MUL\ Rd,Rr$  0 < d < 31,0 < r < 31  $PC < -\ PC + 1$ 

С Устанавливается, если установлен бит 15 результата, в ином случае очищается.

Пример:

```
mul r6, r5; Перемножить r6 и r5.

mov r6, r1; Вернуть результат обратно в r6:r5.

mov r5, r1; Вернуть результат обратно в r6:r5.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2.
```

## Команда NEG – выполнить дополнение до двух

Описание:

Заменяет содержимое регистра Rd его дополнением до двух. Значение \$80 остается неизменным.

*Onepaция:* Rd <-- \$00 - Rd.

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

NEG Rd 0 < d < 31 PC <- PC + 1

- Н Устанавливается, если есть заем из бита 3, в ином случае очищается.
- **S**  $N \oplus V$ , для проверок со знаком.
- V Устанавливается при переполнении дополнения до двух от подразумеваемого вычитания из нуля, в ином случае очищается. Переполнение дополнения до двух произойдет, если содержимое регистра после операции (результат) будет \$80.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.
- С Устанавливается, если есть заем в подразумеваемом вычитании из нуля, в ином случае очищается. Флаг С будет устанавливаться во всех случаях, за исключением случая, когда содержимое регистра после выполнения операции будет \$80.

### Пример:

```
sub r11, r0 ;Вычесть r0 из r11.
brpl positive ;Перейти, если результат
;положительный.
neg r11 ;Выполнить дополнение до двух r11.
positive: nop ; Перейти по назначению (пустая ;операция).
```

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда NOP – выполнить холостую команду

Описание:

Команда выполняется за один цикл без выполнения операции.

```
Счетчик программ:
       Операнды:
                           PC < -PC + 1
         нет
Пример:
   clr r16
                  ; Очистить r16.
        r17
                  ; Установить r17.
   ser
        $18, r16; Записать ноль в Порт В.
   out
                   ; Ожидать (пустая операция).
   nop
         $18, r17 ; Записать 1 в Порт В.
   out
Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.
```

#### Команда OR – выполнить логическое ИЛИ

Описание:

Команда выполняет логическое ИЛИ содержимого регистров Rd и Rr и размещает результат в регистре назначения Rd.

*Onepaция:* Rd <-- Rd∨Rr.

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

OR Rd,Rr 0 < d < 31,0 < r < 31 PC <- PC + 1

S N⊕V, для проверок со знаком.

**V** 0, очищен.

N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.

**Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.

Пример:

or r15, r16 ; Выполнить поразрядное ИЛИ.

bst r15, 6 ; Сохранить бит 6 регистра 15 во

;флаге Т.

brst ok ; Перейти, если флаг Т установлен.

. . .

ok: nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

# Команда ORI – выполнить логическое ИЛИ с непосредственным значением

Описание:

Команда выполняет логическое ИЛИ между содержимым регистра Rd и константой и размещает результат в регистре назначения Rd.

Oперация: Rd <-- Rd v K

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

ORI Rd,K 16 < d < 31,0 < K < 255 PC <- PC + 1

S N $\oplus$ V, для проверок со знаком.

**V** 0, очищен.

**N** Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.

**Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.

Пример:

ori r16, \$F0 ; Установить старший полубайт r16.

ori r17, 1 ; Установить бит 0 регистра r17.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

# **Команда OUT – записать данные из регистра в порт ввода/вывода** *Описание:*

Команда сохраняет данные регистра Rr в регистровом файле пространства ввода/вывода (порты, таймеры, регистры конфигурации и т.п.).

*Onepaция:* P <-- Rr

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: OUT P,Rr 0 < r < 31, 0 < P < 63 PC < --+1

Пример:

clr r16 ; Очистить r16. ser r17 ; Установить r17.

out \$18, r16; Записать нули в порт В. nop; Ожидать (пустая операция). out \$18, r17; Записать единицы в порт В.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

#### Команда РОР – записать регистр из стека

Описание:

Команда загружает регистр Rd байтом содержимого стека.

Onepayuя: Rd <-- STACK

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

POP Rd 0 < d < 31 PC< --+ 1. SP< --- SP + 1

Пример:

call routine ; Вызвать подпрограмму.

. . .

routine: push r14 ; Сохранить r14 в стеке.

push r13 ; Сохранить r13 в стеке.

. . .

pop r13 ; Восстановить r13. pop r14 ; Восстановить r14.

ret ; Вернуться из подпрограммы.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2.

## Команда PUSH – поместить регистр в стек

Описание:

Команда помещает содержимое регистра Rd в стек.

*Onepaция:* STACK <-- Rr

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

PUSH Rr 0 < d < 31 PC< -- + 1. SP< -- SP - 1

Пример:

call routine ; Вызвать подпрограмму.

. . .

routine: push r14 ; Сохранить r14 в стеке push r13 ; Сохранить r13 в стеке. ; Восстановить r13. pop r13

; Восстановить r14. r14 pop

ret ; Вернуться из подпрограммы.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2.

### Команда RCALL – вызвать подпрограмму относительно

Описание:

Команда вызывает подпрограмму в пределах +2 Кслов (4 Кбайт). Адрес возврата (после выполнения команды RCALL) сохраняется в стеке (см. также команду CALL).

*Onepaция:* PC <-- PC + k + 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: Стек:

-2K < k < 2K PC <-- PC + k + 1 RCALL k STACK <-- PC + 1

SP <-- SP-2

(2 байта, 16 бит)

Пример:

rcall routine; Вызвать подпрограмму.

routine: push r14 ; Сохранить r14 в стеке.

pop r14 ; Восстановить r14.

; Вернуться из подпрограммы. ret

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 3.

## Команда RET – вернуться из подпрограммы

Команда возвращает из подпрограммы. Адрес возврата загружается из стека.

*Onepaция:* PC(15-0) <-- STACK

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: Стек:

RET SP <-- SP+2 См. операцию нет

(2 байта, 16 бит)

Пример:

call routine ; Вызвать подпрограмму.

push r14 ; Сохранить r14 в стеке. routine:

> ; Восстановить r14. r14 pop

ret ; Вернуться из подпрограммы.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 4.

#### Команда RETI – вернуться из прерывания

Описание:

Команда возвращает из прерывания. Адрес возврата выгружается из стека и устанавливается флаг глобального прерывания.

*Onepaция:* PC(15-0) <-- STACK

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: Стек:

RETI нет См. операцию  $SP \leftarrow SP+2$ 

(2 байта, 16 бит)

I = 1. Флаг регистра статуса SREG установлен.

Пример:

. . .

extint: push r0 ; Сохранить r0 в стеке.

. . .

рор r0; Восстановить r0.

reti ; Вернуться и разрешить прерывания.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 4.

### Команда RJMР – перейти относительно

Описание:

Команда выполняет относительный переход по адресу в пределах +2 Кслов (4 Кбайт) текущего состояния счетчика команд. В Ассемблере вместо относительных операндов используются метки. Для МК AVR с памятью программ, не превышающей 4 Кслов (8 Кбайт), данная команда может адресовать всю память программ.

One pa y u s: PC < -- PC + k + 1

RJMP k

Синтаксис: Операнды:

Счетчик программ: PC <-- PC + k + 1

I=1. Флаг регистра статуса (SREG) установлен.

Пример:

срі r16, \$42 ; Сравнить r16 с \$42.

brne error ; Перейти, если r16 <> \$42.

rjmp ok ; Безусловный переход.

error: add r16, r17; Сложить r17 c r16.

inc r16 ; Увеличить на 1 r16.

ok: пор ; Назначение для rjmp.

-2K < k < 2K

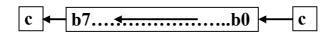
Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2

## Команда ROL – сдвинуть влево через перенос

Описание:

Сдвиг всех битов Rd на одно место влево. Флаг переноса (C) регистра состояния (SREG) смещается на место бита 0 регистра Rd. Бит 7 смещается во флаг переноса (C).

Операция:



Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

ROL Rd 0 < d < 31 PC <- PC + 1

- Н Устанавливается, если есть 1 в бите 3, в ином случае очищается.
- S N $\oplus$ V, для проверок со знаком.
- V №С (для N и C после сдвига). Устанавливается, если (N устанавливается и С очищается) или (N очищается, а С устанавливается). В ином случае очищается (при наличии значений N и C после сдвига).
- **N** Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.
- С Устанавливается, если перед сдвигом был установлен MSB регистра Rd, в ином случае очищается.

Пример:

rol r15 ; Сдвигать влево.

brcs oneenc; Перейти, если установлен

;перенос.

. . .

oneenc: nop ; Пустая операция.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда ROR – сдвинуть вправо через перенос

Описание:

Сдвиг всех битов Rd на одно место вправо. Флаг переноса (C) регистра состояния (SREG) смещается на место бита 7 регистра Rd. Бит 0 смещается во флаг переноса (C).

Операция:



Синтаксис Операнды: Счетчик программ:

ROR Rd 0 < d < 31 PC <- PC + 1

- **S**  $N \oplus V$ , для проверок со знаком.
- V №С (для N и C после сдвига). Устанавливается, если (N устанавливается и С очищается) или (N очищается, а С устанавливается). В ином случае очищается (при наличии значений N и C после сдвига).

- **N** Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.
- С Устанавливается, если перед сдвигом был установлен LSB регистра Rd, в ином случае очищается.

```
ror r15 ; Сдвигать вправо.
brcc zeroenc ; Перейти, если перенос очищен.
. . . .
zeroenc: nop ; Пустая операция.
Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.
```

#### Команда SBC – вычесть с переносом

Описание:

Вычитание содержимого регистра-источника и содержимого флага переноса (C) из регистра Rd, размещение результата в регистре назначения Rd.

*Onepaция:* Rd <-- Rd - Rr − C

```
Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: SBC Rd,Rr 0 < d < 31, 0 < r < 31 PC <- PC + 1
```

- Н Устанавливается, если есть заем из бита 3, в ином случае очищается.
- S N⊕V, для проверок со знаком.
- V Устанавливается, если в результате операции образуется переполнение дополнения до двух, в ином случае очищается.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Предшествовавшее значение остается неизменным, если результат равен нулю, в ином случае очищается.
- С Устанавливается, если абсолютное значение содержимого Rr плюс предшествовавший перенос больше, чем абсолютное значение Rd, в ином случае очищается.

### Пример:

```
; Вычесть r1 : r0 из r3 : r2. sub r2, r0 ; Вычесть младший байт. sbc r3, r1 ; Вычесть старший байт с переносом. Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.
```

# **Команда SBCI** – вычесть непосредственное значение с переносом *Описание:*

Вычитание константы и содержимого флага переноса (C) из содержимого регистра, размещение результата в регистре назначения Rd.

*Onepayuя:* Rd <-- Rd - K − C

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SBCI Rd,K 0 < d < 31, 0 < K < 255 PC <- PC + 1

- Н Устанавливается, если есть заем из бита 3, в ином случае очищается.
- S N⊕V, для проверок со знаком.
- V Устанавливается, если в результате операции образуется переполнение дополнения до двух, в ином случае очищается.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Предшествовавшее значение остается неизменным, если результат равен нулю, в ином случае очищается.
- С Устанавливается, если абсолютное значение константы плюс предшествовавший перенос больше, чем абсолютное значение Rd, в ином случае очищается.

### Пример:

; Вычесть \$4F23 из r17 : r16.

subi r16, r23 ; Вычесть младший байт.

sbci r17, \$4F ; Вычесть старший байт с переносом.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда SBIS – пропустить, если бит в регистре ввода/вывода установлен

#### Описание:

Команда проверяет состояние бита в регистре ввода/вывода и, если этот бит установлен, пропускает следующую команду. Данная команда работает с младшими 32 регистрами ввода/вывода (адреса с 0 по 31).

One page If I/O(P,b) = 1 then PC < --PC + 2 (or 3) else PC < --PC + 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SBIS P,b 0 < P < 31, 0 < b < 7 PC <-- PC + 1, если условия не соблюдены, нет пропуска.

PC<-- PC + 2, если следующая

команда длиной в 1слово.

РС <-- РС + 3, пропускает

команды JMP или CALL

waitset: sbis\$10,0 ; Пропустить следующую команду, ; если установлен бит 0 в порте D. rjmp waitset ; Бит не установлен. nop ; Продолжать (пустая операция).

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, нет пропуска, 2, если условия соблюдены, выполняется пропуск.

# **Команда SBIW** – вычесть непосредственное значение из слова *Onucanue:*

Вычитание непосредственного значения (0-63) из пары регистров и размещение результата в паре регистров. Команда работает с четырьмя верхними парами регистров, удобна для работы с регистрами указателями. *Операция:* Rdh:Rdl <--- Rdh:Rdl - K

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SBIW Rdl,K  $dl \in \{24,26,28,30\}, 0 < K < 63$  PC <- PC + 1

- **S**  $N \oplus V$ , для проверок со знаком.
- V Устанавливается, если в результате операции образуется переполнение дополнения до двух, в ином случае очищается.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$0000, в ином случае очищается.
- С Устанавливается, если абсолютное значение константы K больше абсолютного значения содержимого регистра Rd, в ином случае очищается.

## Пример:

sbiw r24, 1 ; Вычесть 1 из r25:r24. sbiw r28, 63 ; Вычесть 63 из Y указателя (r29 : r28). Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2.

## Команда SBR – установить биты в регистре

#### Описание:

Команда выполняет установку определенных битов в регистре Rd. Команда выполняет логическое ORI между содержимым регистра Rd и маской-константой K и размещает результат в регистре назначения Rd.

*Onepaция:* Rd <-- Rd v K

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: SBR Rd,K 16 < d < 31, 0 < K < 255 PC < - PC + 1

- S N⊕V, для проверок со знаком.
- **V** 0, очищен.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается. *Пример:*

sbr r16, 3F0; Установить биты 0 и 1 в r16. sbr r17, \$F0; Установить старшие 4 бита в r17. Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда SBRC – пропустить, если бит в регистре очищен

Описание:

Команда проверяет состояние бита в регистре и, если этот бит очищен, пропускает следующую команду.

Onepayuя: If Rr(b) = 0 then  $PC \leftarrow PC + 2$  (or 3) else  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: SBRC Rr,b 0 < r < 31, PC < -- PC + 1, если условия 0 < b < 7 не соблюдены, нет пропуска. PC < -- PC + 2, если следующая команда длиной в 1слово.

PC <-- PC + 3, если следующие команды JMP или CALL.

Пример:

sub r0, r1; Вычесть r1 из r0. sbrc r0, 7; Пропустить, если бит 7 в r0 очищен. sub r0, r1; Выполняется только, если бит 7 в r0; не очищен. пор; Продолжать (пустая операция).

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, нет пропуска, 2, если условия соблюдены, выполняется пропуск.

# **Команда SBRS** – пропустить, если бит в регистре установлен *Описание:*

Команда проверяет состояние бита в регистре и, если этот бит установлен, пропускает следующую команду.

One paus: If Rr(b) = 1 then PC < -- PC + 2 (or 3) else PC < -- PC + 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SBRS Rr,b 0 < r < 31, PC < -- PC + 1, если условия

0 < b < 7 не соблюдены, нет пропуска.

PC <-- PC + 2, если следующая

команда длиной в 1слово.

PC <-- PC + 3, если следующие

команды JMP или CALL.

### Пример:

sub r0, r1; Вычесть r1 из r0.

sbrs r0, 7 ; Пропустить, если бит 7 в r0 установлен.

neg r0 ; Выполняется только, если бит 7 в r0

;не установлен.

Nop ; Продолжать (пустая операция).

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1, если условия не соблюдены, нет пропуска, 2, если условия соблюдены, выполняется пропуск.

### Команда SEC – установить флаг переноса

Описание:

Команда устанавливает флаг переноса (C) в регистре статуса (SREG) Onepauus: C <-- 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SEC HeT  $PC \leftarrow PC + 1$ 

## C = 1. Флаг переноса установлен.

Пример:

sec ; Установить флаг переноса.

adc r0, r1 ; r0 = r0 + r1 + 1.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда SEH – установить флаг полупереноса

Описание:

Команда устанавливает флаг полупереноса (H) в регистре статуса (SREG). Операция:  $H \le -1$ 

 Синтаксис:
 Операнды:
 Счетчик программ:

 SEH
 нет
 PC <-- PC + 1</td>

Н=1. Флаг полупереноса установлен.

Пример:

seh ; Установить флаг полупереноса.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда SEI – установить флаг глобального прерывания

Описание:

Команда устанавливает флаг глобального прерывания (I) в регистре статуса (SREG).

*Операция:* I <-- 1

 Синтаксис:
 Операнды:
 Счетчик программ:

 SEI
 нет
 PC <-- PC + 1</td>

I = 1. Флаг глобального прерывания установлен.

Пример:

cli ; Запретить прерывания.

in r13, \$16; Считать порт В.

sei ; Разрешить прерывания.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда SEN – установить флаг отрицательного значения

Описание:

Команда устанавливает флаг отрицательного значения (N) в регистре статуса (SREG).

*Onepaция:* N <-- 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SEN  $PC \leftarrow PC + 1$ 

## N = 1. Флаг переноса установлен.

Пример:

add r2, r19; Сложить r19 с r2.

sen ; Установить флаг отрицательного значения.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда SER – установить все биты регистра

Описание:

Значение \$FF заносится непосредственно в регистр назначения Rd.

Onepaция: Rd <-- \$FF

 Синтаксис:
 Операнды:
 Счетчик программ:

 SER Rd
 16 < d < 31</td>
 PC <-- PC + 1</td>

Пример:

clr r16 ; Очистить r16.

ser r17 ; Установить r17.

out #18, r16 ; Записать нули в порт В.

пор ; Задержка (пустая операция).

out #18, r17 ; Записать единицы в порт В.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда SES – установить флаг знака

Описание:

Команда устанавливает флаг учета знака (S) в регистре статуса (SREG).

*Onepaция:* :S <-- 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SES  $PC \leftarrow PC + 1$ 

S = 1. Флаг учета знака установлен.

Пример:

add r2, r19; Сложить r19 c r2.

ses ; Установить флаг отрицательного значения.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда SET – установить флаг Т

Описание:

Команда устанавливает флаг пересылки (T) в регистре статуса (SREG).

*Onepaция:* T <-- 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SET  $PC \leftarrow PC + 1$ 

T = 1. Флаг пересылки установлен.

Пример:

set ; Установить Т флаг.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда SEV – установить флаг переполнения

Описание:

Команда устанавливает флаг переполнения (V) в регистре статуса (SREG).

*Oперация:* V <-- 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SEV HeT  $PC \leftarrow PC + 1$ 

V = 1. Флаг переполнения установлен.

Пример:

add r2, r19; Сложить r19 с r2

sev ; Установить флаг переполнения

Слов: 1 (2 байта). Циклов 1.

## Команда SEZ – установить флаг нулевого значения

Описание:

Команда устанавливает флаг нулевого значения (Z) в регистре статуса (SREG).

*Onepaция:* Z <-- 1

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SEZ HET  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Z = 1. Флаг нулевого значения установлен.

Пример:

add r2, r19; Сложить r19 c r2.

sez ; Установить флаг нулевого значения.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда SLEEP – установить режим SLEEP

Описание:

Команда устанавливает схему в SLEEP режим, определяемый регистром управления центрального процессорного устройства (ЦПУ). Когда прерывание выводит ЦПУ из режима SLEEP, команда, следующая за командой SLEEP, будет выполнена прежде, чем отработает обработчик прерывания.

Операция: См. описание режима пониженного энергопотребления в документации.

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SLEEP HET  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Пример:

mov r0, r11; Копировать r11 в r0.

sleep ; Перевести МСU в режим sleep.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

# Команда ST – записать косвенно из регистра в ОЗУ с использованием индекса X

Описание:

Записывается косвенно один байт из регистра в ОЗУ. Положение байта в ОЗУ указывается 16-разрядным регистром-указателем X в регистровом файле. Обращение к памяти ограничено текущей страницей объемом 64 Кбайта. Для обращения к другой странице ОЗУ необходимо изменить регистр RAMPX в области ввода/вывода. Регистр-указатель X может остаться неизменным после выполнения команды, но может быть инкрементирован или декрементирован. Эта особенность очень удобна при использовании регистра-указателя X в качестве указателя стека.

Использование Х-указателя:

Операция: Комментарий:

(i) (X) <-- Rr X: Неизменен.

(ii) (X) < --Rr X < --X + 1 X: Инкрементирован впоследствии.

(iii) X < -- X - 1 ( X) < -- Rr X: Предварительно декрементирован.

	011111101101101	o mepungan	o ioi iiii iipoi poiiiii
(i)	ST X,Rr	0 < d < 31	PC < PC + 1
(ii)	ST X+,Rr	0 < d < 31	PC < PC + 1
(iii)	ST -X,Rr	0 < d < 31	PC < PC + 1
Пример	:		
clr	r27	; Очистить старши	й байт Х.
ldi	r26, \$20	; Установить \$20	в младший байт Х.
st	X+,r0	; Сохранить в r0	содержимое SRAM по
		;адресу \$20 (Х п	остинкрементируется).
st	X, r1	; Сохранить в r1	содержимое SRAM по
		;адресу \$21.	
ldi	r26, \$23	; Установить \$23	в младший байт Х.
st	r2, X	; Сохранить в r2	содержимое SRAM
		;по адресу \$23.	
st	r3, -X	; Сохранить в r3	содержимое SRAM
	; ПО	адресу \$22 (Х пре	еддекрементируется).
Слов: 1	(2 байта). Ци	іклов: 2.	

Операнды:

Счетчик программ:

# Команда ST (STD) – записать косвенно из регистра в ОЗУ с использованием индекса Y

#### Описание:

Записывается косвенно, со смещением или без смещения, один байт из регистра в ОЗУ. Положение байта в ОЗУ указывается 16-разрядным регистром-указателем У в регистровом файле. Обращение к памяти ограничено текущей страницей объемом 64 Кбайта. Для обращения к другой странице ОЗУ необходимо изменить регистр RAMPY в области ввода/вывода. Регистр-указатель У может остаться неизменным после выполнения команды, но может быть инкрементирован или декрементирован. Эта особенность очень удобна при использовании регистрауказателя У в качестве указателя стека.

Использование У-указателя:

Синтаксис:

Операция:	Комментарий:
(i) (Y) < Rr	Ү: Неизменен.
(ii) $(Y) \leRr$ $Y \leY + 1$	Ү: Инкрементирован впоследствии.
(iii) $Y \le Y - 1$ $(Y) \le Rr$	Ү: Предварительно декрементирован.
(iv) $(Y + q) < Rr$	Ү: Неизменен, q: смещение.

	Синтаксис:	Операнды:	Счетчик программ:
(i)	ST Y,Rr	0 < d < 31	PC < PC + 1
(ii)	ST Y+,Rr	0 < d < 31	PC < PC + 1

(iii) ST -Y,Rr 
$$0 < d < 31$$
 PC <-- PC + 1  
(iv) STD Y+q,Rr  $0 < d < 31$ , PC <-- PC + 1  
 $0 < q < 63$ 

clr r29 ;Очистить старший байт Y.

ldi r28,\$20 ;Установить \$20 в младший байт Y.

st Y+, r0 ; Сохранить в r0 содержимое SRAM по адресу ; \$20 (Y постинкрементируется).

st Y,r1 ;Coхранить в r1 содержимое SRAM по адресу \$21.

ldi r28,\$23 ;Установить \$23 в младший байт Y.

st Y,r2; Cохранить в r2 содержимое SRAM по адресу \$23.

st -Y,r3 ;Сохранить в r3 содержимое SRAM по адресу \$22; (Y преддекрементируется).

std Y+2,r4 ;Сохранить в r4 содержимое SRAM ;по адресу \$24.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2.

# Команда ST (STD) – записать косвенно из регистра в ОЗУ с использованием индекса Z

#### Описание:

Записывается косвенно, со смещением или без смещения, один байт из регистра в ОЗУ. Положение байта в ОЗУ указывается 16-разрядным регистром-указателем Z в регистровом файле. Обращение к памяти ограничено текущей страницей объемом 64 Кбайта. Для обращения к другой странице ОЗУ необходимо изменить регистр RAMPZ в области ввода/вывода. Регистр-указатель Z может остаться неизменным после выполнения команды, но может быть инкрементирован или декрементирован. Эта особенность очень удобна при использовании регистра-указателя Z в качестве указателя стека, однако, поскольку регистр-указатель Z может быть использован для косвенного вызова подпрограмм, косвенных переходов и табличных преобразований, более удобно использовать в качестве указателя стека регистры-указатели X и Y.

### Использование Z-указателя:

Операция: Комментарий:

(i) (Z) <-- Rr Z: Неизменен.

(ii) (Z) <-- Rr Z <-- Y + 1 Z: Инкрементирован впоследствии.

(iii) Z < -- Z - 1 (Z > -- Rr Z : Предварительно декрементирован.

(iv) ( Z + q) <-- Rr Z: Неизменен, q: смещение.

	Синтаксис:	Операнды:	Счетчик программ:
(i)	ST Z,Rr	0 < d < 31	PC < PC + 1
(ii)	ST Z+,Rr	0 < d < 31	PC < PC + 1
(iii)	ST -Z,Rr	0 < d < 31	PC < PC + 1
(iv)	STD Z+q,Rr	0 < d < 31,	PC < PC + 1
		0 < q < 63	

```
clr r31
           ; Очистить старший байт Z.
ldi r30,$20; Установить $20 в младший байт Z.
           ; Сохранить содержимое r0 в SRAM по
st
    Z+,r0
            ;адресу $20 (Z постинкрементируется).
            ; Сохранить содержимое r1 в SRAM по
st Z,r1
            ;адресу $21.
ldi r30,$23; Установить $23 в младший байт Z.
st
   Z,r2
            ; Сохранить содержимое r2 в SRAM по
            адресу $23.
st - Z, r3
            Сохранить содержимое r3 в SRAM по адресу
            ;$22 (Z преддекрементируется).
             ; Сохранить содержимое r4 в SRAM по
std Z+2,r4
              ;адресу $24.
```

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 2.

## Команда STS – загрузить непосредственно в ОЗУ

#### Описание:

Выполняется запись одного байта из регистра в ОЗУ. Можно использовать 16-разрядный адрес. Обращение к памяти ограничено текущей страницей ОЗУ объемом 64 Кбайта. Команда STS использует для обращения к памяти выше 64 Кбайт регистр RAMPZ.

*Onepaция:* (k) <-- Rr

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ: STS k,Rr 0 < r < 31, 0 < k < 65535 PC < - PC + 2

### Пример:

```
lds r2, $FF00; Загрузить в r2 содержимое SRAM; по адресу $FF00.
add r2, r1; Сложить r1 с r2.
sts $FF00, r2; Записать обратно.
Слов: 2 (4 байта). Циклов: 3.
```

#### Команда SUB – вычесть без переноса

Описание:

Вычитание содержимого регистра-источника Rr из содержимого регистра Rd, размещение результата в регистре назначения Rd.

Oперация: Rd <-- Rd − Rr

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SUB Rd,Rr 16 < d < 31, 0 < r < 31 PC <- PC + 1

- Н Устанавливается, если есть заем из бита 3, в ином случае очищается.
- S N⊕V, для проверок со знаком.
- V Устанавливается, если в результате операции образуется переполнение дополнения до двух, в ином случае очищается.
- N Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.
- С Устанавливается, если абсолютное значение содержимого Rr больше, чем абсолютное значение Rd, в ином случае очищается.

### Пример:

sub r13, r12; Вычесть r12 из r13. brne noteq; Перейти, если r12 <> r13. noteq: nop; Перейти по назначению (пустая операция). Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

## Команда SUBI – вычесть непосредственное значение

Описание:

Вычитание константы из содержимого регистра, размещение результата в регистре назначения Rd.

Oперация: Rd <-- Rd - K

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SUB Rd,K 16 < d < 31, 0 < K < 255 PC <- PC + 1

- Н Устанавливается, если есть заем из бита 3, в ином случае очищается.
- **S**  $N \oplus V$ , для проверок со знаком.
- V Устанавливается, если в результате операции образуется переполнение дополнения до двух, в ином случае очищается.
- **N** Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.

С Устанавливается, если абсолютное значение константы больше, чем абсолютное значение Rd, в ином случае очищается.

#### Пример:

```
subi r22, $11 ; Вычесть $11 из r22.
brne noteq ; Перейти, если r22 <> $11.
```

. . .

noteq: nop; Перейти по назначению (пустая операция). Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

#### Команда SWAP – поменять полубайты местами

Описание:

Меняются местами старший и младший полубайты (нибблы) регистра.

Onерация:  $Rd(7-4) \le -Rd(3-0)$ ,  $Rd(3-0) \le -Rd(7-4)$ 

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

SWAP Rd 0 < d < 31 PC <-- PC + 1

Пример:

inc r1 ; Увеличить на 1 r1.

swap r1 ; Поменять местами полубайты r1.

inc r1 ; Увеличить на 1 старший полубайт r1.

swap r1 ; Снова поменять местами полубайт r1.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда TST – проверить на ноль или минус

Описание:

Регистр проверяется на нулевое или отрицательное состояние. Выполняется логическое AND содержимого регистра с самим собой. Содержимое регистра остается неизменным.

*Onepaция:* Rd <-- Rd \* Rd

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

TST Rd 0 < d < 31 PC <- PC + 1

S  $N \oplus V$ , для проверок со знаком.

V 0, очищен.

- **N** Устанавливается, если в результате установлен MSB, в ином случае очищается.
- **Z** Устанавливается, если результат \$00, в ином случае очищается.

Пример:

```
tst r0 ; Проверить r0. breq zero ; Перейти, если r0 = 0.
```

. . .

zero: nop ; Перейти по назначению (пустая операция). Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

### Команда WDR – сбросить сторожевой таймер

Описание:

Команда сбрасывает сторожевой таймер (Watchdog Timer). Команда может быть выполнена внутри заданного предделителем сторожевого таймера промежутка времени (см. аппаратные характеристики сторожевого таймера).

Операция: Перезапускается WD (сторожевой таймер).

Синтаксис: Операнды: Счетчик программ:

WDR HeT  $PC \leftarrow PC + 1$ 

Пример:

wdr ; Сбросить сторожевой таймер.

Слов: 1 (2 байта). Циклов: 1.

#### Контрольные вопросы

- 1. Почему Ассемблер называют машинно-зависимым языком?
- 2. Какие средства языка позволяют сделать исходную программу машинно-независимой хотя бы в пределах одного семейства?
- 3. Что такое препроцессор?
- 4. Что такое макрос и для чего он нужен?
- 5. Какие виды строк могут быть в исходной программе?
- 6. Как записываются комментарии в исходной программе?
- 7. Как записываются директивы, не помещающиеся в одну строку?
- 8. Что такое операнды, какие виды операндов используются в Ассемблере?
- 9. Чем отличается команда (инструкция) от директивы?
- 10. Как записать операцию деления числа по модулю 3?
- 11. Чем различаются действия, обозначающиеся символами = и ==?
- 12. Чем различаются операции побитного и логического И (ИЛИ)?
- 13. Как обозначается и выполняется условный оператор?
- 14. Какие функции есть в Ассемблере и как они выполняются?
- 15.В каких случаях можно использовать выражения в исходной программе?
- 16. Что происходит при ассемблировании?
- 17. Можно ли записывать данные в память программ?
- 18. Как определить переменную в исходной программе?

- 19.Из какого файла Ассемблер берет сведения о программируемом микроконтроллере?
- 20. Каким образом включить в процесс компиляции несколько исходных файлов?
- 21. Как разместить программный код с нужного адреса в памяти программ?
- 22. Как задать символьное имя регистру?
- 23. Для чего нужна условная компиляция?
- 24. Чем различаются директивы .ELIF и .ELSE?
- 25. Как получить inc-файл из xml-файла?
- 26. Как добавить путь для поиска включаемого файла, используя меню?
- 27. Как добавить путь для поиска включаемого файла из командной строки?
- 28. Каким образом можно установить нужный бит в регистре?
- 29. Каким образом проверить, установлен ли нужный бит в регистре?
- 30. Чем отличается логический сдвиг от арифметического?
- 31. Каково назначение битов в регистре статуса?
- 32. Каким образом осуществляется ветвление в исходной программе?
- 33. Напишите исходную программу, опрашивающую состояние битов порта ввода/вывода.
- 34. Какие бывают типы макросов и чем они различаются?
- 35. Как вызывается функция?
- 36. Как вызывается макрос?
- 37. Чем отличается макрос от функции?
- 38. Как сравнить два числа и сделать переход в другое место программы, если они равны?
- 39. Как организовать цикл в исходной программе?
- 40.В каких случаях программа выходит из бесконечного цикла?
- 41. Как используются предопределенные макросы?
- 42. Напишите программу с использованием инструкций МК, реализующую алгоритм типа «case».
- 43. Какие МК выполняют умножение чисел?
- 44. Какие форматы чисел используются для умножения?

#### Учебное издание

#### Зубарев Александр Александрович

#### Ассемблер для микроконтроллеров AVR

Учебное пособие

\* \* \*

Редактор И.Г. Кузнецова

Подписано к печати
Формат 60х90 1/16. Бумага писчая
Оперативный способ печати
Гарнитура Times New Roman
Усл. п. л. 7,0, уч. - изд. л. 7,0
Тираж 150 экз. Заказ
Цена договорная

Издательство СибАДИ 644099, Омск, ул. П.Некрасова, 10 Отпечатано в ПЦ издательства СибАДИ 644099, Омск, ул. П.Некрасова, 10