Министерство образования и науки Российской федерации

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
Национальный исследовательский университет

Кафедра радиотехники

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА MSP430F1611

Методические указания
к лабораторной работе

Нижний Новгород
Издательство Нижегородского госуниверситета
2013

УДК 681.3
ББК 32.973.2

Исследование микроконтроллера MSP430F1611: Методические указания к лабораторной работе / Сост. _____ - Н.Новгород: ННГУ, 2013- ____ с.

Методические указания к лабораторной работе разработаны для преподавания на радиофизическом факультете дисциплины «Аппаратные средства вычислительной техники» по направлению подготовки 010300 «Фундаментальная информатика и информационные технологии» и по специальности 090106 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», а также дисциплины «Микропроцессорные системы» по направлению подготовки 010800 «Радиофизика». Методические указания содержат описание структуры, архитектуры, системы команд и средств программирования микроконтроллера MSP430F1611. Представлены принципиальная схема целевой микропроцессорной системы и дано описание лабораторной установки. Сформулированы задания на лабораторную работу с примерами программного кода. Имеется перечень контрольных вопросов.

Нижегородский государственный университет
им. .И.Лобачевского, 2013

Цель данной лабораторной работы состоит в изучении структуры, архитектуры и программирования микроконтроллера (МК) MSP430F1611 фирмы Texas Instruments, а также в освоении способов тестирования и средств отладки разрабатываемого программного обеспечения.

Возрастающая степень интеграции цифровых микросхем определила появление промышленных МК, реализованных на одном кристалле, в который кроме центрального процессорного элемента (ЦПЭ) интегрирован набор компонентов, состав и предназначение которых определяется конкретным приложением [2, 3]. К числу таких компонентов могут относиться устройства постоянной и перепрограммируемой памяти, последовательные и параллельные порты разного назначения, средства поддержки цифровых каналов связи, аналого-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые (ЦАП) преобразователи и др. Важной характеристикой МК является не только вычислительная производительность, но и возможность работы с низким энергопотреблением.

Лабораторная работа включает две основные части:

- в первой рассматривается структурное построение, принцип работы функциональных компонент, регистровая модель и набор команд МК MSP430F1611[1, 4];
- вторая знакомит со средствами программирования и размещения программного кода в памяти МК и со способом его отладки.

Программный код для МК разрабатывается на компьютере (не инструментальной ЭВМ) с операционной системой Widows. Для этого используется интегрированная среда разработки (IDE) Embedded Workbench компании IAR Systems, которая исполняется как Widows-приложение и имеет в своём составе кросс-ассемблер, позволяющий генерировать двоичный код программы для выбранного микроконтроллера. Двоичный код программы заносится в программируемую память (во *flash*-память) МК. Для этого используется стандартный последовательный интерфейс IEEE P1149 JTAG, разработанный «Объединённой рабочей группой по автоматизации тестирования (*Joint Test Automation Group*)». JTAG стандарт определяет метод поочередного сканирования и управления состояниями входов/выходов компонентов целевой микропроцессорной (МП) системы, в том числе входов/выходов программируемой памяти. Благодаря этому возможно программирование *flash*-памяти путём посылки через контакты JTAG порта битовой последовательности, составленной из адресные кодов и кодов данных.

Целевая МП система, основой которой является микроконтроллер MSP430F1611, представлена в виде платы. Предназначением этой платы является освоение средств программирования МК, включая изучение среды разработки IDE и её взаимодействия с целевой МП системой. Программирование МК осуществляется через USB порт инструментальной ЭВМ (рис. 1), который соединён с целевой системой через USB-JTAG *интерфейс*. Такой интерфейс необходим для того, чтобы выводимые через USB порт сигналы воспринима-

лись JTAG портом целевой системы, а сигналы идущие от целевой системы воспринимались USB портом компьютера.

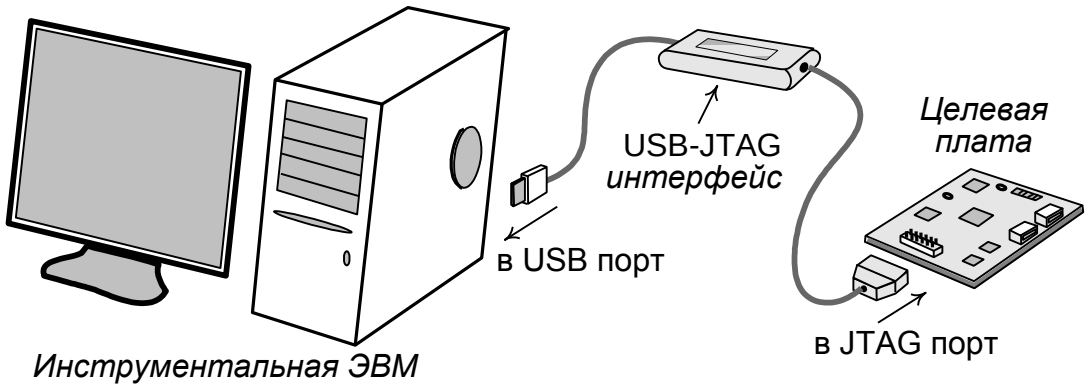


Рис. 1. Схема программирования целевой МП системы

После программирования МК способен работать в автономном режиме, исполняя загруженную в его память программу. При этом питание платы осуществляется от отдельного источника напряжения 3.3 В, который подключается через соответствующий разъём на плате. Микроконтроллер сконструирован с расчётом на низкое энергопотребление, и это позволяет питать его от батарейного источника – от аккумулятора. Предусмотрены средства управления энергопотреблением, основой которых является управление тактовой частотой ядра, а также управление синхронизирующими импульсными последовательностями для устройств ввода/вывода (УВВ).

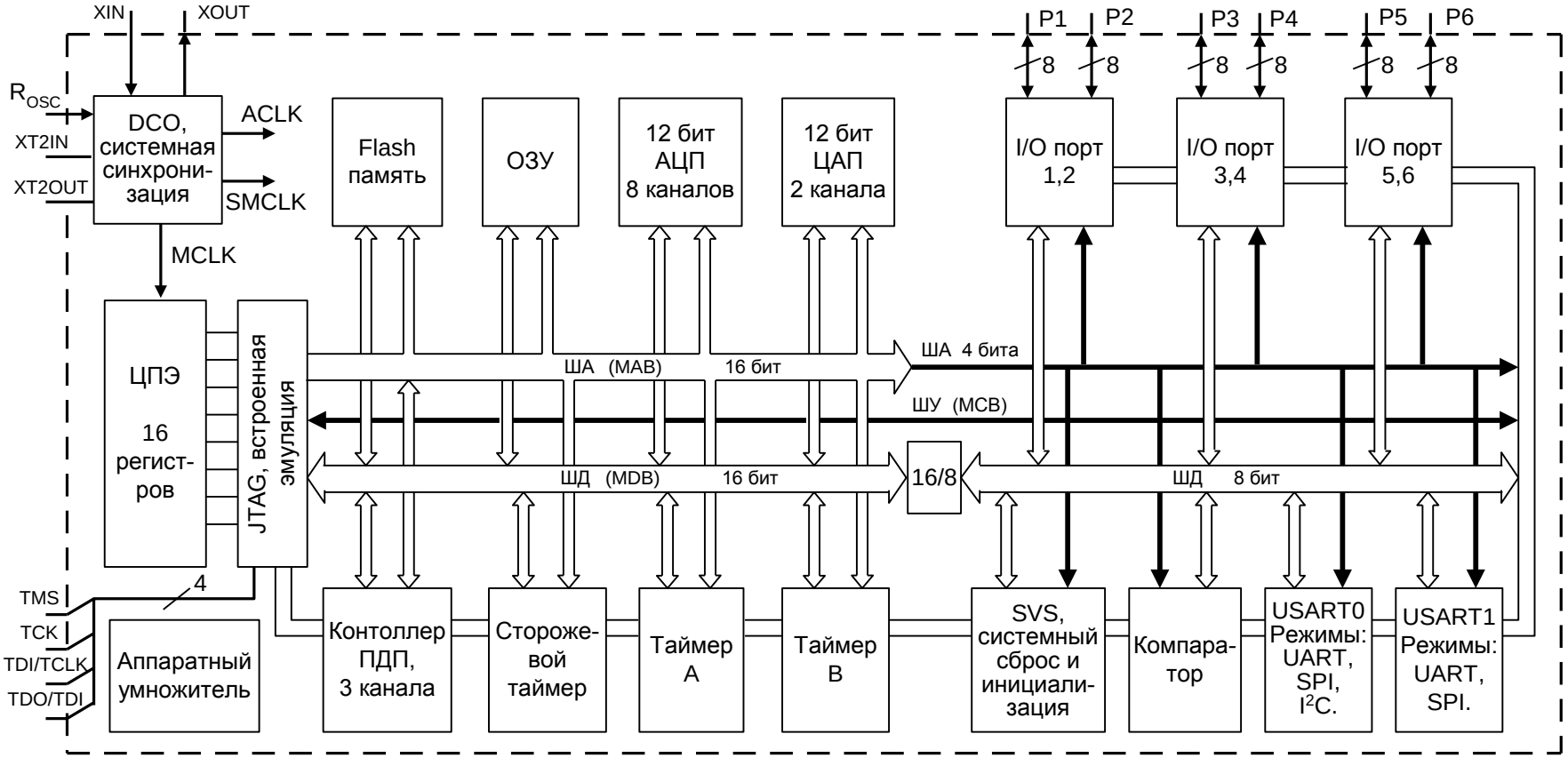


Рис. 2. Структура микроконтроллера MSP430F1611

1. Описание микроконтроллера

Микроконтроллеры семейства MSP430 фирмы Texas Instrumenrs построены как машина фон Неймана (см. рис. 2, на котором приведена структурная схема МК MSP430F1611) с общей внутри кристалла системной магистралью, образованной 16-разрядной шиной адреса ША (MAB – *Memory Address Bus*), 16-разрядной шиной данных ШД (MDB – *Memory Data Bus*) и шиной управления ШУ (MCB – *Memory Control Bus*). Адреса портов ввода/вывода отображены на память и занимают выделенное для них 4-битовое адресное пространство. Часть шины данных имеет пониженную 8-битовую разрядность, соединенную с основной её частью с помощью моста 16/8.

В состав микроконтроллера входят:

1) *центральный процессорный элемент* ЦПЭ, имеющей 16 16-разрядных регистров, включая программный счётчик (PC), указатель стека (SP), регистр состояния (SR) и генератор констант (CG). Генератор констант служит для получения наиболее часто используемых констант (-1, 0, 1, 2, 4, 8) и позволяет, в дополнение к 27 основным командам, эмулировать еще 24 дополнительные инструкции. Последние не относятся к исполняемым ядром МК командам и введены лишь для облегчения программирования. Компилятор автоматически в процессе трансляции исходного ассемблерного кода заменяет эмулирующие инструкции на эквивалентные им реально исполняемые инструкции;

2) *встроенная flash-память* на 48 Кбайта; используется для хранения программного кода и кода данных. Содержимое памяти *flash*-памяти определяется переданной через JTAG порт информацией. При исполнении программы обращение к *flash*-памяти возможно только в режиме чтения. Начальный адрес *flash*-памяти зависит от её объема. Конечный адрес всегда равен 0FFFFh;

3) *оперативное запоминающее устройство* (ОЗУ) объёмом 10 Кбайт.

На рис. 3 представлена карта памяти МК семейства MSP430. В верхней области адресного пространства (в области старших адресов 0FFE0h – 0FFFFh) расположена таблица векторов прерывания. Область 0h – 01FFh отведена под отображённые на память регистры процессора. Адреса с 0100 до 01FFh предназначены для 16-разрядных, а адреса с 010h по 0FFh – для 8-разрядных УВВ. Далее идёт адресное пространство ОЗУ, а ниже таблицы векторов прерываний расположена область адресов *flash*-памяти. Нижняя граница адресного пространства *flash*-памяти и верхняя граница адресов ОЗУ зависят от объёма интегрированной в кристалл МК памяти, и эти границы определяются конкретной модификацией микроконтроллера.

Обмен данными с 16-разрядными УВВ происходит по 16-разрядной шине данных. Для доступа к 8-разрядным портам ввода/вывода используется 8-разрядная шина данных.

Рис. 3. Карта памяти микроконтроллеров семейства MSP430

К интегрированным в кристалл МК устройствам ввода/вывода относятся:

1) 12-*разрядный аналогово-цифровой преобразователь* с частотой дискретизации 200 кГц. Имеет 8 внешних входов для аналоговых сигналов, буфер на 16 слов для хранения результатов преобразования, организованный как очередь с автоматическим заполнением и сохранением её содержимого в основной памяти. Источник опорного напряжения встроен в схему АЦП. Кроме того, в него интегрированы датчик температуры и цепь обнаружения разряда источника питания, позволяющая контролировать состояние источника (батареи) при автономной работе;

2) *двухканальный* 12-*разрядный цифро-аналоговый преобразователь* (ЦАП);

3) *аналоговый компаратор* – без гистерезиса со встроенным программируемым делителем для установки напряжения компарирования (опорного напряжения). Компаратор имеет несколько входов, переключаемых с помощью мультиплексора, и программно отключаемый RC-фильтр на выходе;

4) *контроллер прямого доступа к памяти* **(**КПДП**)**, имеющий три канала, каждый из которых может использоваться для перемещения данных из устройства (или в устройство) ввода/вывода в оперативную (или из оперативной) память(и) независимо от ЦПЭ;

5) *супервизор напряжения источника питания с блоком системного сброса и инициализации* контролирует состояние источника питания и генерирует сигнал системного сброса при снижении напряжения питания ниже установленного порогового значения. Используется также при включении МК в работу, т.е. при подаче на него питания. После установки напряжения питания до рабочего уровня генерирует сигнал запроса прерывания, запускающего процедуру инициализации;

6) *два универсальных* 16-*битовых таймера* (Timer A и Timer B) с режимами «захват/сравнение» и возможностью формирования сигнала широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Оба таймера выполнены в виде 16-разрядных двоичных счётчиков, подсчитывающих импульсы, получаемые либо от устройства синхронизации, либо от выделенных для этого выводов микросхемы МК. Счётчики таймеры способны работать в нескольких режимах. При этом разрядность счётчика таймера B может программно установиться на 8, 10, 12 или 16. Для фиксации (захвата) данных о результате счёта и для генерации временных интервалов имеются блоки захвата/сравнения. Таймер A имеет три таких блока, а в таймере B их число может быть увеличено (в зависимости от модификации) до семи. Любой из таймеров может выполнять множественный одновременный счёт, множественные операции захвата/сравнения, формирование выходных сигналов специальной формы, в частности, сигналы с широтно-импульсной (ШИМ) модуляцией, а также комбинации названных операций;

7) *сторожевой таймер.* Главная функция сторожевого таймера – контроль системного рестарта при сбое в работе программы: если программа не производит обращение к сторожевому таймеру в течение заданного интервала времени, то производится системный сброс. В тех случаях, когда данная функция таймера не требуется, он может быть запрограммирован на работу в качестве интервального таймера;

8) *два универсальных синхронно/асинхронных приёмо-передатчика* (USART0,1). USART0 работает в трёх режимах: в режиме универсального асинхронного приёмо-передатчика (UART режим), в режиме синхронного периферийного интерфейса (SPI) и в режиме I^2C (в режиме двухпроводного интерфейса). В USART1 такой режим работы не предусмотрен.

При обмене данными в асинхронном режиме UART каждый передаваемый символ содержит стартовый бит, семь или восемь битов данных, бит контроля чётности и один или два стоповых бит. Период следования битов определяется выбранным источником тактовых импульсов и настройкой работы сдвиговых регистров, преобразующих поступающий по шине данных MDB па-

раллельный код в последовательный, а принимаемый последовательный код – в параллельный для передачи его на шину MDB. Скорость передачи определяется частотой тактирования принимающего и предающего сдвиговых регистров. В асинхронном режиме обмена данными между двумя устройствами используется протокол с форматом «свободная линия». При таком формате блоки данных на линиях передачи или приёма разделены временем простоя (временем, когда линия свободна). Простой линии приёма обнаруживается, когда приняты 10 или более не изменяющихся со временем логических единиц (меток) после первого стопового бита символа. При использовании двух стоповых битов, второй стоповый бит принимается за первый маркерный бит периода простоя. Когда связываются три или более устройств, к биту данных добавляется адресный бит, что позволяет USART поддерживать многопроцессорные коммуникационные форматы со «свободной линией».

В синхронном режиме (в режиме SPI) последовательные данные передаются и принимаются множеством устройств с использованием общего тактирования, обеспечиваемого ведущим. Ведущий определяется по значению дополнительного сигнала (сигнала STE – разрешение передачи ведомого), управляемого ведущим. Сигнал STE необходим для разрешения приёма и передачи данных устройством, на выводе которого этот сигнал установлен.

Режим I^2C обычно используется для внутрисистемного обмена между интегральными схемами встроенных МП систем и поддерживает любые ведущие или ведомые устройства, совместимые с интерфейсом I^2C через последовательную двухпроводную шину I^2C. Внешние компоненты, присоединенные к шине I^2C последовательно передают и/или принимают последовательные данные в/из USART;

9) *шесть портов общего назначения* **(**P1–P6**)** являются многофункциональными портами ввода/вывода, которые могут быть использованы как 8-разрядные параллельные цифровые порты, так и как средство для подключения к контактам микроконтроллера таймеров, аналоговых входов АЦП, выходов ЦАП, входов и выходов компаратора и последовательных портов, а также для выдачи и приёма сигналов синхронизации. Для реализации этих возможностей предусмотрены средства конфигурации портов посредством занесения в принадлежащие им регистры управления соответствующей информации.

Система тактирования микроконтроллера разработана специально для использования в приложениях с питанием от батарей. Основное тактирование (MCLK – *Master Clock*), необходимое для работы ЦПЭ, имеет три источника:

– внутренний низкочастотный/высокочастотный генератор последовательности тактовых импульсов LFXT1CLK с внешним резонатором – с низкочастотным часовым кристаллом на 32768 Гц или с одним из стандартных резонаторов (кристаллов) на диапазон от 450 кГц до 8 МГц;

– один из источников дополнительных тактовых импульсов XT2CLK: либо высокочастотный внутренний генератор со стандартными внешними резонаторами, либо внешний генератор на диапазон от 450 кГц до 8 МГц;
– встроенный тактовых импульсов DCOCLK с цифровым управлением (DCO – *Digitally Controlled Oscillator*), состоящий из задающего управляемого RC-генератора и дополнительной схемы формирования тактирующей последовательности DCOCLK.

Наряду с основным имеет место вспомогательное (ACLK – *Auxiliary Clock*) и второстепенное (SMCLK – *Sub-System Master Clock*) тактирование. Модуль ACLK предназначен для высокоскоростных устройств ввода/вывода и является буферизированным источником тактовых импульсов LFXT1CLK с делителем на 1, 2, 4 или 8. Период следования ACLK программно задаётся для конкретных периферийных модулей. Источником второстепенного SMCLK тактирования в зависимости от программных установок является либо XT2CLK (при условии доступности), либо DCOCLK с коэффициентом деления 1, 2, 4 или 8. Параметры SMCLK также задаются программно для конкретных УВВ.

Архитектура MSP430 позволяют эффективно использовать 16-разрядный ЦПЭ только в нужные промежутки времени, что позволяет на низких тактовых частотах снизить энергопотребление, сводя его до ультранизкого, а на высоких при активизации основного высокоскоростного модуля тактирования – выполнять быструю обработку сигналов. Основной модуль тактирования может быть программно сконфигурирован

– на работу с номинальной частотой без использования внешних компонент кроме одного внешнего резистора и
– на работу с одним или двумя внешними кристаллами (резонаторами) XT1 и XT2. Внешние компоненты подключаются к соответствующим контактам Rosc, XIN, XOUT, XT2IN и XT2OUT.

2 Система прерываний и рабочие режимы

Механизм прерываний обеспечивает реакцию ЦПЭ на происходящие в МП системе события, связанные с работой её функциональных узлов. Получив запрос прерывания процессор приостанавливает выполнение текущей программы и переходит на исполнение процедуры обслуживания поступившего запроса. Прерывания делятся на три типа:

– системное (системный сброс);
– немаскируемое (NMI);
– маскируемые.

Запросы прерывания со стороны устройств ввода/вывода относятся к классу маскируемых и возникают в основном при необходимости принять или

передать данные в УВВ. **Маскируемые прерывания** можно запретить или разрешить путём установки или сброса бита общего разрешения прерываний GIE в регистре состояния SR, а также индивидуальных бит разрешения в *регистре* (*или регистрах*) *управления* работой конкретного УВВ. Поступившие от УВВ запросы прерывания как *флаги прерываний* фиксируются в соответствующих *регистрах флагов прерывания*.

Сигнал запроса прерывания (сигнал IRQ – *Interrupt Request*) генерирует каждое из незамаскированных и готовых к обмену данными устройство. Сигналы IRQ направлены на то, чтобы ЦПЭ прерывал исполнения текущего потока команд и перешёл на процедуру ISR (*Interrupt Service Routine*) обработки запроса прерывания.

Запросы от отдельных УВВ объединяются по «ИЛИ» (рис. 4). В результате формируется обращённый к ЦПЭ запрос INTR (*Interrupt Request*), который воспринимается, если установлен бит общего разрешения прерываний GIE (элемент «И» на рис. 4). В ответ на запрос INTR ЦПЭ посылает сигнал подтверждения INTA (*Interrupt Acknowledge*). Подтверждение INTA распространяется последовательно от одного УВВ к другому. При этом первое получившее подтверждение INTA устройство прекращает дальнейшее распространение этого игнала. Тем самым реализуется схема расстановки приоритетов, согласно которой наивысшим приоритетом обладает наиболее близкое к ЦПЭ УВВ.

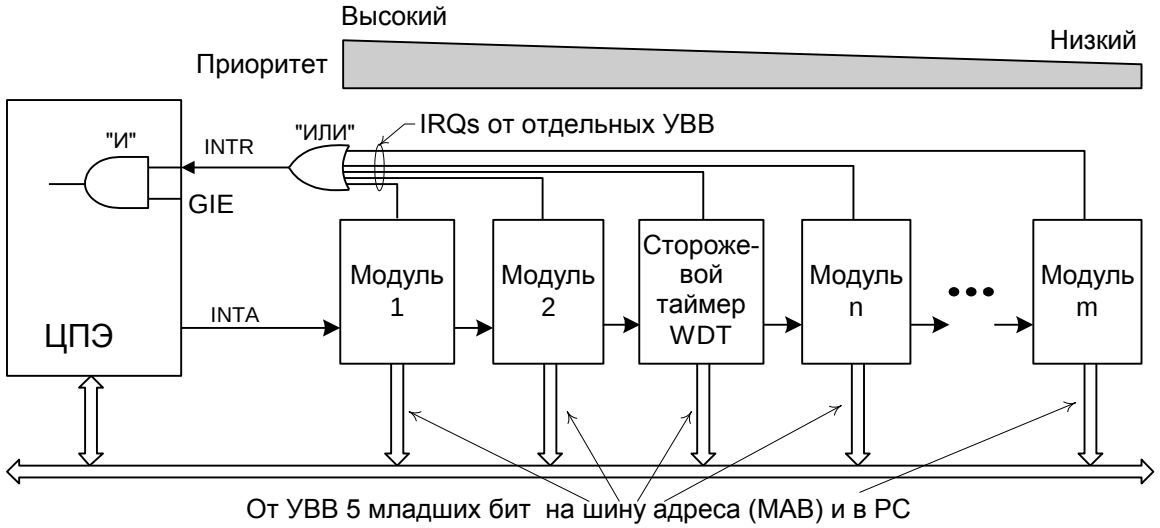


Рис. 4. Логика приоритетов УВВ

Получив подтверждение INTA, УВВ выставляет на шину адреса вектор прерывания, значение которого берётся из *регистра вектора прерывания*. По вектору прерывания определяется стартовый адрес процедуры обработки прерывания ISR.

В целом последовательность действий при обработка запроса прерывания выглядит следующим образом:

1) любая текущая команда выполняется до конца;
2) содержимое программного счетчика PC помещается в стек;

3) в стек помещается содержимое регистра состояния SR;
4) если имело место несколько запросов прерываний, то сначала обрабатывается запрос с наивысшим приоритетом, а остальные ожидают обслуживания. Наивысшим приоритетом обладает УВВ, которое наиболее близко расположено по отношению к ЦПЭ;
5) автоматически сбрасывается флаг прерывания а регистре флагов источника запроса. Флаги остальных запросов остаются установленными в ожидании обслуживания;
6) регистр состояния SR очищается. Неизменным остаётся только бит SCG0 (о назначении разрядов регистра SR см. ниже). В результате прекращается работа в любом режиме пониженного энергопотребления. Это необходимо для, чтобы ЦПЭ смог быстро исполнить соответствующую ISR;
7) из регистра вектора прерывания обрабатываемого УВВ берётся значение вектора прерывания. По нему определяется значение пяти младших бит программного счётчика PC и стартовый адрес ISR. При этом старшие разряды PC устанавливаются в «1». Последующее инкрементирование PC обеспечивает исполнение процедуры обработки прерывания.

Каждый вектор прерывания ассоциирован с соответствующим элементом *таблицы векторов прерываний* (таблица 1), которая расположена в памяти МК по базовому адресу 0FFE0h. В таблицу занесены стартовые адреса ISR тех УВВ, для которых предусмотрена возможность работы в режиме с прерываниями, а также точка входа в программу начальной установки МК (RESET_VECTOR).

Значение вектора прерывания равно смещению относительно базового адреса 0FFE0h и для его кодирования достаточно 5-ти разрядов. Поэтому векторы прерываний передаются в ЦПЭ по пяти младшим линиям шины flhtcf MAB.

Программа обработки прерывания заканчивается командой возврата из прерывания RETI (*Return from Interrupt*). По этой команде
1) восстанавливается из стека содержимое регистра SR. В результате становятся действующими все предыдущие установки разрядов в регистре SR и восстанавливается предшествующий режим работы МК,
2) восстанавливается из стека содержимое программного счетчика PC и продолжается выполнение прерванной программы.

Возможны вложенные прерывания, если бит GIE будет установлен во время выполнения текущей процедуры обработки прерывания. Когда вложенные прерывания разрешены, любой запрос прерывания с приоритетом выше текущего вызовет переход на выполнение соответствующей новому запросу ISR.

Немаскируемые (NMI) прерывания – это прерывания от источников, состояние которых имеет критическое значение для работы МП системы. На

них не действует общий бит разрешения прерываний GIE и их можно запретить только установкой индивидуального бита разрешения. Немаскируемые прерывания обслуживаются по выделенному для них вектору NMI_VECTOR.

Таблица 1

Вектор прерывания	**Адрес**	**Смещение относительно 0FFE0h**	**Источник запроса прерывания**
DACDMA_VECTOR	0FFE0h	0	ЦАП/КПДП (при использовании режима ПДП)
PORT2_VECTOR	0FFE2h	2	Порт P2
USART1TX_VECTOR	0FFE4h	4	Порт USART1 (режим передачи)
USART0RX_VECTOR	0FFE6h	6	Порт USART1 (режим приёма)
PORT1_VECTOR	0FFE8h	8	Порт P1
TIMERA1_VECTOR	0FFEAh	10	Таймер A
TIMERA0_VECTOR	0FFECh	12	Таймер A
ADC12_VECTOR	0FFEEh	14	АЦП
USART0TX_VECTOR	0FFF0h	16	Порт USART0 (режим передачи)
USART0RX_VECTOR	0FFF2h	18	Порт USART0 (режим приёма)
WDT_VECTOR	0FFF4h	20	Сторожевой таймер
CMPRA_VECTOR	0FFF6h	22	Компаратор A
TIMERB1_VECTOR	0FFF8h	24	Таймер B
TIMERB0_VECTOR	0FFFAh	26	Таймер B
NMI_VECTOR	0FFFCh	28	Немаскируемое прерывание
RESET_VECTOR	0FFFEh	30	Сброс (наибольший приоритет)

Процессоры семейства MSP430 разработаны для приложений с ультранизким потреблением энергии и способны работать в разных режимах. Смена режимов работы обусловлена:

- стремлением снизить уровень потребляемой ядром микроконтроллера энергии,
- обеспечением необходимой скорости обработки данных и пропускной способности устройств ввода/вывода и

– минимизацией потребления тока устройствами ввода/вывода.

Энергосберегающие режимы (LPMs – *Low Power Modes*) перечислены в таблице 2. Уровень энергопотребления определяется битами CPUOFF, OSCOFF, SCG0 и SCG1 в регистре состояния SR (рис. 5).

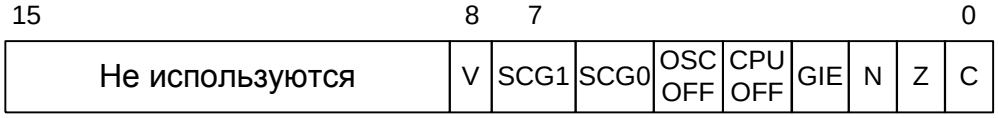


Рис. 5. Формат регистра состояния SR

Включение битов режима CPUOFF, OSCOFF, SCG0 и SCG1 в регистр SR обусловлено тем, что при переходе на процедуру обработки прерывания текущий режим работы может быть восстановлен путём сохранения содержимого SR в стеке. Такое восстановление происходит всегда при возврате из процедуры обработки прерывания.

Таблица 2

SCG1	**SCG0**	**OSCOFF**	**CPUOFF**	**Режим**	**Состояние ЦПУ и систем тактирования**
0	0	0	0	Активный	ЦПЭ и все системы тактирования активны
0	0	0	1	LPM0	MCLK отключён и ЦПЭ не тактируется (отключён); SMCLK и ACLK активны
0	1	0	1	LPM1	ЦПЭ, MCLK и DCO отключены; DCO не используется для MCLK или SMCLK тактирования; SMCLK и ACLK активны
1	0	0	1	LPM2	ЦПЭ, MCLK, SMCLK и DCO отключены; задающий RC-генератор остается включённым; ACLK активно
1	1	0	1	LPM3	ЦПЭ, MCLK, SMCLK и DCO отключены; RC-генератор отключен; ACLK активно
1	1	1	1	LPM4	ЦПЭ и все системы тактирования отключены

Помимо бит режима в регистр SR включены флаги (признаки) операций арифметическо-логического устройства АЛУ (о флагах АЛУ см. раздел 3). По флагам операций (по переполнению V, по переносу C, по знаку S, по отрицательному результату N) определяется корректность работы АЛУ, а также реализуются команды условных переходов.

3. Центральный процессорный элемент

Центральный процессорный элемент состоит из 16-битового арифметическо-логического устройства (АЛУ) и набора из 16-ти регистров – регистры R0–R15 (рис. 6). Среди них 12 регистров R4–R15 – это регистры общего назначения, а четыре регистра R0–R3 выполняют соответственно функции счётчика команд PC, указателя вершины стека SP, регистра статуса SR и генератора констант CG. Несмотря на специализацию некоторых регистров (это относится к регистрам R0–R3), по отношению к АЛУ все регистры равноправны.

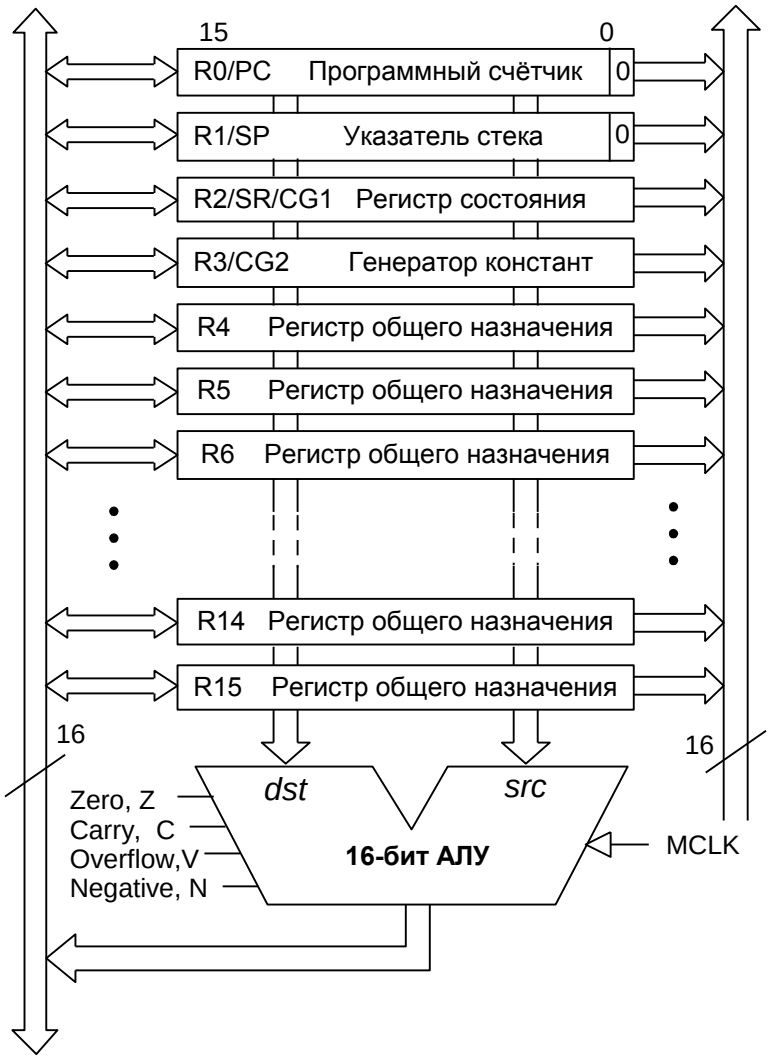


Рис. 5. Блок-схема ЦПЭ.

16-разрядный программный счётчик PC/R0 указывает на следующую команду, которая будет выполняться после исполнения текущей команды. PC инкрементируется соответственно тому, из какого чётного числа байтов (два, четыре или шесть) состоит каждая команда. Команды располагаются в адресном пространстве 64 Кбайт и выравниваются по границам слов, поэтому значения PC всегда соответствуют чётным адресам.

Указатель стека SP/R1 используется ЦПЭ для хранения адресов возврата из подпрограмм и процедур обработки прерываний. Стек может быть построен по предекрементной или постинкрементной схеме. Указатель стека SP может использоваться со всеми командами и во всех режимах адресации. Указатель стека SP инициализируется пользователем и выравнивается по чётным адресам.

В регистр состояния SR/R2 включены следующие флаги (признаки) операций АЛУ: флаги нуля Z (zero), переноса C (*carry*), переполнения V (*overflow*) и отрицательного результата N (*negative*). R2 используется как регистр источник или как регистр приёмник и при необходимости может быть использован для поддержки работы генератора констант.

Работу генератора констант CG поддерживают регистры R2 и R3. С их помощью генерируются шесть констант (-1, 0, 1, 2, 4, 8), используемых при обращении к памяти в режимах с косвенной регистровой и косвенной регистровой с атоинкрементацией или автодекрементацией адресации. Способы использования регистров R2 и R3 и значений генерируемых ими констант зависят от режима адресации, определяемого соответствующими битами в кодах операций. Применение генератора констант даёт следующие преимущества:

- не требуется обращение к памяти для получения констант -1, 0, 1, 2, 4, 8;
- сокращается формат команд обращения к памяти, поскольку не требуется включения в них дополнительного слова, если значение этого слова совпадает с одной из шести автоматически генерируемых констант;
- если одна из шести констант рассматривается как непосредственный операнд, то Ассемблер автоматически генерирует команды, рассчитанные на использование генератора констант. При использовании регистров R2 и R3 в режиме генерации констант, их адресация не может быть явной – они действуют по умолчанию и только как регистры-источники.

Двенадцать регистров общего назначения R4-R15 могут быть использованы в качестве регистров данных, указателей адресов или индексных значений и доступны при выполнении команд работы с байтами или словами.

Набор команд

При написании программ необходимо учитывать особенности ЦПЭ, его архитектуру (регистровую модель) и набор команд, с помощью которых реализуются арифметические и логические операции, условные и безусловные переходы, вызовы и возвраты из процедур, сохранение содержимого регистров в памяти и загрузка данных из памяти в регистры, обмен данными с портами (регистрами) ввода/вывода. Команды в памяти представляются в виде двоичного кода, содержащего код операции (КОП) и указание на то, где расположены операнды, или сами операнды. Программирование в двоичных кодах весьма трудоёмко и для его облегчения двоичным кодам команд сопоставляются мнемонические обозначения, которые являются основой низкоуровневого языка программирования – языка Ассемблера.

Полный набор команд МК семейства MSP430 включает 27 команд ядра и 24 эмулированные команды. Команды ядра – это команды, имеющие уникальный код операции декодируемый ЦПЭ. Эмулированные команды представляют собой инструкции, облегчающие чтение и написание кода, но не имеющие собственного кода операции, поэтому Ассемблер автоматически меняет их на эквивалентные команды ядра. Использование эмулирующих команд не приводит к увеличению объёма кода или снижению производительности. Существует три формата команд ядра:

- с двойным операндом – с операндом-источником *src* и операндом-приемником *dst* (таблица 3);
- с одиночным операндом – с одним операндом-источником *src* или с одним операндом-приемником *dst* (таблица 4);
- команды перехода, вызова, возврата (таблица 5).

В начале каждой команды указано её мнемоническое обозначение. Затем указываются операнды (один или два). Команды с одним и двумя операндами могут быть предназначены для работы с байтами или со словами, на что показывает соответствующее расширение мнемоник КОП «.B» или «.W». Если расширение в КОП не показано, то по умолчанию такие команды предназначаются для работы со словами. Операндами может быть содержимое регистров или содержимое ячеек памяти. Но в командах с двумя операндами одним из операндов является регистр.

Команды с двойным операндом

Таблица 3

Команда	**Действие команды**	**Биты статуса**			
		V	N	Z	C
MOV(.B) *src*, *dst*	*src* → *dst*	-	-	-	-
ADD(.B) *src*, *dst*	*src* + *dst* → *dst*	*	*	*	*
ADDC(.B) *src*, *dst*	*src* + *dst* + C→ *dst*	*	*	*	*
SUB(.B) *src*, *dst*	*src* + *.not. dst* + 1→ *dst*	*	*	*	*
SUBC(.B) *src*, *dst*	*src* + *.not. dst* + C→ *dst*	*	*	*	*
CMP(.B) *src*, *dst*	*dst – src*	*	*	*	*
DADD(.B) *src*, *dst*	*src* + *dst* + C→ *dst* (десятичное)	*	*	*	*
BIT(.B) *src*, *dst*	*src .and. dst*	0	*	*	*
BIC(.B) *src*, *dst*	*.not.src .and. dst* → *dst*	-	-	-	-
BIS(.B) *src*, *dst*	*src .or. dst* → *dst*	-	-	-	-
XOR(.B) *src*, *dst*	*src .xor. dst* → *dst*	*	*	*	*
AND(.B) *src*, *dst*	*src .and. dst* → *dst*	0	*	*	*

«*» – влияет на бит статуса; «-» – не влияет на бит статуса;
«0» – бит статуса очищается;
в круглых скобках необязательное расширение мнемоник Ассемблера.

Команды с одним операндом

Таблица 4

Команда	**Действие команды**	**Биты статуса**			
		V	N	Z	C
RLA(.B) *dst*	Арифметический сдвиг вправо на 1 бит	0	*	*	*
RLC(.B) *dst*	Циклический сдвиг вправо на 1 бит через триггер переноса C	*	*	*	*
RRA(.B) *dst*	Арифметический сдвиг вправо на 1 бит	0	*	*	*
RRC(.B) *dst*	Циклический сдвиг вправо на 1 бит через триггер переноса C	*	*	*	*
PUSH(.B) *dst*	SP-2 → SP, *src* → @SP. Проталкивание в стек	-	-	-	-
SWPB *dst*	Переставить байты местами	-	-	-	-
CALL *dst*	SP-2 → SP, PC+2 → @SP, *dst* → PC. Вызов процедуры	-	-	-	-
RET	@SP → PC SP+2 → SP. Возврат из процедуры	*	*	*	*
RETI	TOS → SR, SP+2 → SP; TOS → PC,SP+2 → SP. Возврат из прерывания (TOS – вершина стека)	*	*	*	*
SXT	Bit 7 → Bit 8.....Bit 15. Расширение знака байта на слово	0	*	*	*

«*» – влияет на бит статуса; «-» – не влияет на бит статуса;

«0» – бит статуса очищается;

Команды перехода

Таблица 5

Команда	**Действие команды**
JEQ/JZ *метка*	Переход к метке, если бит Z нуля установлен
JNE/JNZ *метка*	Переход к метке, если бит Z нуля сброшен
JC *метка*	Переход к метке, если бит C переноса установлен
JNC *метка*	Переход к метке, если бит переноса C сброшен
JN *метка*	Переход к метке, если бит N отрицательного результата установлен
JGE *метка*	Переход к метке, если (N.XOR.V)=0
JL *метка*	Переход к метке, если (N.XOR.V)=0
JMP *метка*	Безусловный переход

Переходы делятся на условные и безусловные. Условные переходы обеспечивают ветвление программы относительно программного счётчика PC и не оказывают влияния на биты статуса. Возможный диапазон переходов с помощью условных команд составляет от –511 до +512 слов относительно текущего значения PC. Указанное в команде 10-разрядное смещение обрабатывается как число со знаком. При этом его значение удваивается и только после этого скла-

дывается со значением программного счётчика. Это обусловлено тем, что адреса всех команд выравниваются по границам 16-разрядных слов.

Режимы адресации

При работе с данными и при реализации переходов используются несколько способов вычисления исполнительного адреса операндов *src* и *dst*, называемых режимами адресации. Режимы адресации микроконтроллеров семейства MSP430 представлены в таблице 6.

Таблица 6

Режим адресации	**Синтаксис**	**Описание**
Регистровый	Rn	Содержимое регистра Rn является операндом
Индексный	X(Rn)	Значение (Rn+X) указывает на операнд – ячейку памяти. Значение X находится в следующем за кодом команды слове
Символьный	ADDR	Адрес ADDR определяется по смещению X относительно PC. Другими словами, на операнд указывает значение (PC+X). Значение X сохранено в следующем слове. Реализован как индексный режим X(PC)
Абсолютный	&ADDR	Слово, следующее за командой с адресом (PC + X=0), содержит адрес операнда. Реализован как индексный режим X(R2) с использование генератора констант – константы 0, извлекаемой из регистра R2
Косвенный регистровый	@Rn	Содержимое регистра Rn используется как указатель на операнд
Косвенный с автоинкрементацией	@Rn+	Содержимое Rn используется как указатель на операнд. Содержимое Rn впоследствии увеличивается на 1 для байтовых команд и на 2 для команд-слов
Прямой (непосредственный)	#N	Слово, следующее за командой, содержит непосредственную константу N. Реализован как косвенный автоинкрементный режим @PC+

4. Умножитель-аккумулятор (MAC)

К вычислительным устройствам микроконтроллера относится 16-*разрядный аппаратный умножитель.* Аппаратный умножитель не входит в состав ЦПЭ и работает независимо от него. Поддерживаются четыре типа операций: знаковое и беззнаковое умножение (MPYS и MPY), знаковое и беззнаковое умножение с накоплением (MACS и MAC).

Тип операции выбирается адресом, в который записан первый операнд. Умножитель имеет два 16-разрядных регистра операндов OP1 и OP2 и три регистра результата RESLO, RESHI и SUMEXT (рис. 6) и приступает к работе

сразу после загрузки регистров операндов. Поэтому для умножителя не требуется специальных инструкций и дополнительных циклов синхронизации. Результат автоматически сохраняется в регистрах результата. Операции выполняются при любых комбинациях 8- и 16-разрядных операндов.

В регистре RESLO содержится младшее слово результата, в RESHI – старшее слово результата, а в регистре SUMEXT находится информация о результате. Для появления результата необходимо 3 такта MCLK. Результат может быть прочитан следующей командой после записи в OP2. Исключение составляет случай, когда используется косвенный режим адресации к регистру результата. В этом случае необходимо вставить команду NOP перед чтением результата.

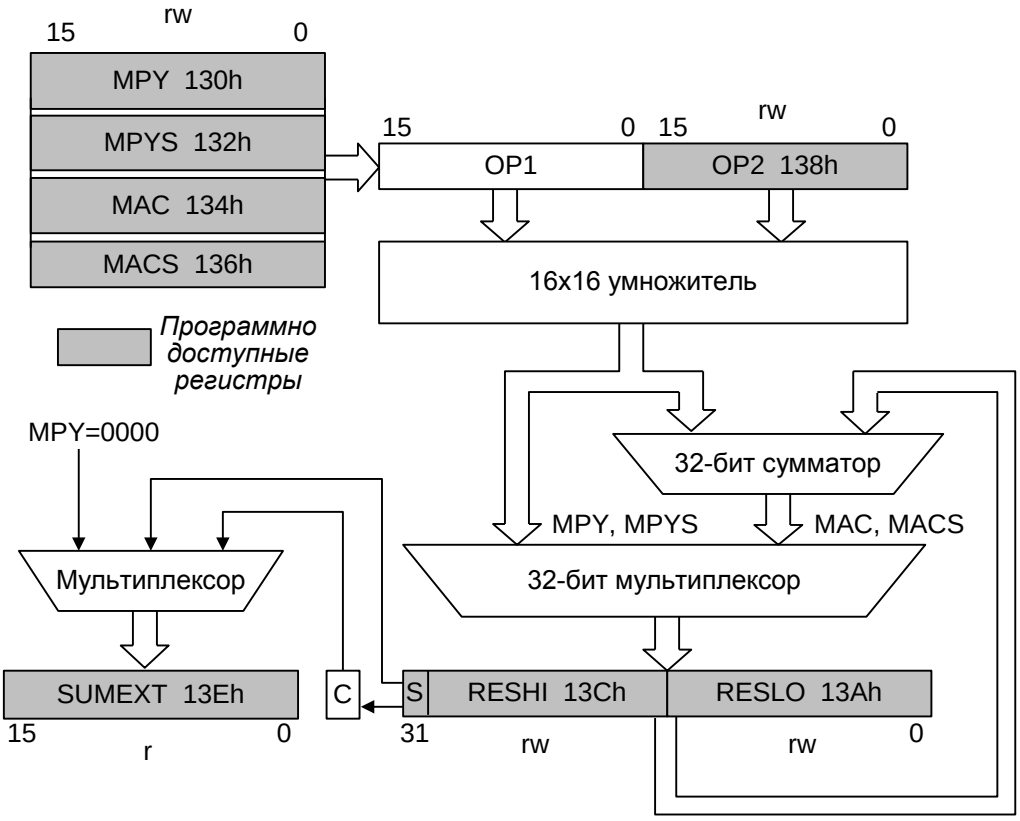


Рис. 6. Структурная схема умножителя-аккумулятора.

Регистр первого операнда OP1 имеет четыре адреса 130h (MPY), 132h (MPYS), 134h (MAC) и 136h (MACS), используемые при выборе режима умножения. Запись первого операнда по желаемому адресу позволяет выбрать тип операции умножения, но не приведет к началу выполнения какой-либо операции. Запись операнда в регистр второго операнда OP2 инициирует операцию умножения. Запись в OP2 стартует выбранную операцию над значениями, сохраненными в OP1 и OP2. Результат записывается в три регистра результата RESLO, RESHI и SUMEXT. Повторение операций умножения может выполняться без перезагрузки OP1, если значение в OP1 используется для последова-

тельных операций и если нет необходимости перезаписывать значение в OP1 для выполнения операций.

Результат размещается в двух регистрах – в младшем RESLO и старшем RESHI 16-разрядных регистрах результата. Содержимое старшего регистра результата RESHI зависит от операции умножения.

5 Тестирование системы

Для тестирования системы используется последовательный интерфейс, выполненный в стандарте IEEE P1149 JTAG Этот стандарт, как уже говорилось, определяет метод поочередного сканирования состояний входов/выходов компонентов системы и используется внутрисхемным эмулятором для доступа к встроенной системе поддержки тестирования. Эмуляторы используют порт JTAG для текущего контроля и управления процессором, установленным на целевой печатной плате, при отладке системы и её программного обеспечения. Для отладки используется также программный симулятор инструментальной ЭВМ.

Сканирование состояний входов/выходов (сканирование границ) позволяет разработчику системы проверять схему соединений на печатной плате с привлечением минимального количества специального контрольного оборудования. Сканирование возможно благодаря наличию возможности управления и отслеживания каждого входа и выхода на каждом кристалле с помощью набора последовательно просматриваемых защёлок. Каждый вход и выход подсоединяется к своей защёлке, а защёлки соединяются в длинный регистр сдвига, так что данные могут считываться или записываться в них через последовательный тестовый порт. Для двунаправленных выводов возможна комбинация функций ввода и вывода. Взаимодействие с JTAG портом осуществляется с помощью сигналов:

- TCK (входной) – сигнал тактовой синхронизации операций тестовой логики. Используется для синхронизации данных в защёлках просмотра и управляющей последовательности тестового конечного автомата;
- TMS (входной) – выбор тестового режима. Первичный управляющий сигнал. Синхронный по отношению к TCK. Последовательность значений на TMS задает текущее состояние порта тестирования;
- TDI/TCLK (входной/выходной) – вход тестовых данных или вход синхронизации. Отсюда последовательные входные данные, подаются в защёлки просмотра;
- TDO/TDI (выходной/входной) – выход тестовых данных. На этот контакт поступают последовательные выходные данные, извлекаемые из защелок просмотра. Может быть запрограммирован для приёма входных данных.

В данной лабораторной работе JTAG интерфейс используется для загрузки во *flash*-память микроконтроллера программ, которые явились результатом их разработки в среде IDE Embedded Workbench.

6. Описание целевой микропроцессорной системы

Целевая МП система, принципиальная схема которой приведена на рис. 7, выполнена в виде платы, на которой расположены:

- микросхема U1 микроконтроллера с подключенными к ней кварцевыми резонаторами Q1, Q2 и Q3;
- микросхема U2 интерфейса с последовательным коммуникационным портом RS232;
- простые устройства ввода/вывода: одноразрядный источник цифрового ввода кнопка BUT и одноразрядный цифровой индикатор – светодиод LED;
- кнопка аппаратного сброса RST;
- стабилизированный источник напряжения 3.3 В, питаемый от внешнего источника переменного напряжения 4.5 В через разъём PWR_JACK;
- разъём JTAG порта.

Внешний источник напряжения используется в автономном (независящем от инструментальной ЭВМ) режиме работы. Когда целевая система связана с инструментальной ЭВМ, то напряжение питания 3.3 В поступает через JTAG порт.

Поскольку в микроконтроллер интегрированы аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи, то для них требуется постоянное опорное напряжение V+. Это напряжение создаётся с использованием источника 3.3 В и поступает на соответствующие входы МК микросхемы.

Необходимо различать аналоговую и цифровую «землю». Это связано с тем, что на плате действуют как аналоговые, так и цифровые сигналы. На принципиальной схеме (рис. 7) для этих двух видов заземления используются разные обозначения и они имеют только одну общую точку. Эта точка находится там, где показано сопротивление R1 = 0.

Для выдачи сигнала LED на светодиод и приёма сигнала от кнопки BUT используется порт P6 микроконтроллера (контакты P6.0 и P6.1 соответственно). Связь с портом RS232 (сигналы TXD0 и RXD0) осуществляется через порт P3 (контакты P3.4 и P3.5).

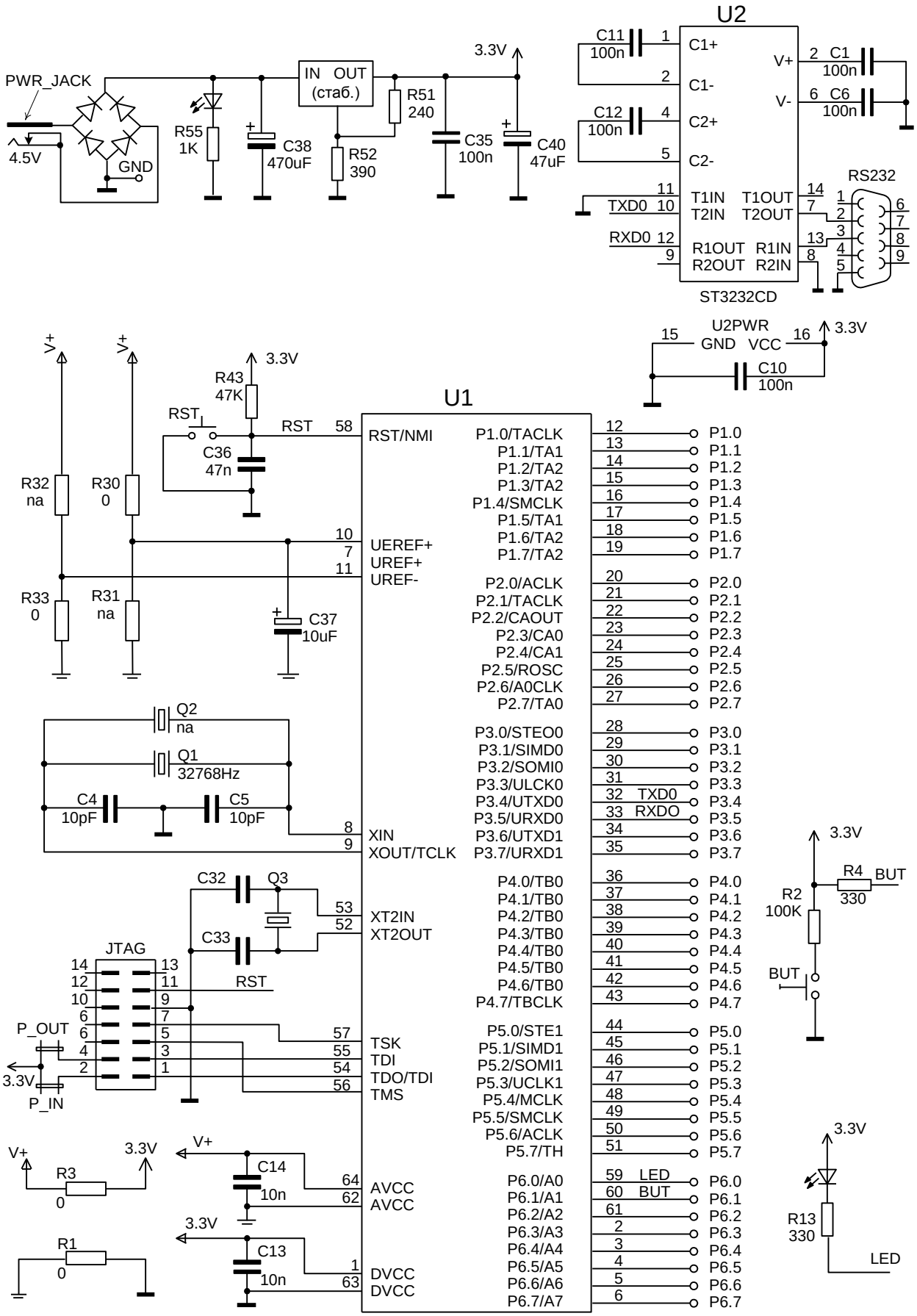


Рис. 7. Принципиальная схема целевой МП системы

7. Описание аппаратной и программной частей лабораторной установки

Общий вид лабораторной установки показан на рис. 1.

При работе с имеющимися на плате целевой системы УВВ (с кнопочным выключателем и со светодиодом) для выполнения лабораторных заданий каких-либо других средств, кроме изображённых на рис. 1, не требуется. Такие средства нужны при работе с аналого-цифровым и цифро-аналоговым преобразователями и при использовании порта RS232.

При работе с УВВ, входящими в состав целевой системы (таковыми являются кнопочный выключатель и светодиод), не требуется каких-либо дополнительных средств, кроме представленных на рис. 1. Связь с этими устройствами осуществляется через контакты P6.0 и P6.1. порта P6.

В дополнение к этому предусмотрена возможность ввода аналоговых сигналов, их цифровой обработки и вывода результата в аналоговом представлении. Для этой цели используются интегрированные в кристалл микроконтроллера АЦП и ЦАП. Сигналы на АЦП поступают от генератора стандартных сигналов (ГСС). Контроль сигналов, выводимых через ЦАП, осуществляется с помощью осциллографа. Для приёма сигналов от ГСС и передачи сигналов на осциллограф используются контакты порта P6 микроконтроллера, соединяемые с соответствующими измерительными приборами.

Порт RS232 предназначен для обмена информацией с цифровыми устройствами в режиме последовательного асинхронного интерфейса. Для контроля за его работой требуется подключение УВВ, способного принимать и передавать информацию в режиме, соответствующем режиму работы порта RS232. В данной работе порт RS232 не используется.

Задания к лабораторной работе, которым требуется дополнительное оборудование, включают описание этого оборудования и способ его подключения к плате целевой системы.

Для программирования целевой системы используется язык Ассемблера. Программа разрабатывается с помощью инструментальной ЭВМ и интегрированной среды разработки IDE.

Создание проекта с использованием среды разработки IDE начинается с того, что IDE предлагает шаблон (листинг 1) в соответствии, с которым можно построить программу на языке Ассемблера. В шаблоне отмечены основные позиции, которых следует придерживаться при написании программы.

Листинг 1

```
#include "msp430.h"             ; #define controlled include file
      NAME    main              ; module name
      PUBLIC  main              ; make the main label vissible
                                ; outside this module
      ORG   0FFFEh
```

```
        DC16  init                ; set reset vector to 'init' label
        RSEG  CSTACK              ; pre-declaration of segment
        RSEG  CODE                ; place program in 'CODE' segment
init:   MOV   #SFE(CSTACK),SP     ; set up stack

main:   NOP                       ; main program
        MOV.W   #WDTPW+WDTHOLD,&WDTCTL  ; Stop watchdog timer
        JMP $                     ; jump to current location '$'
                                  ; (endless loop)
        END
```

Вначале указан заголовочный файл msp430.h, который содержит необходимые определения констант. Константам в заголовочном файле соответствуют мнемонические обозначения адресов отображённых на память регистров ЦПЭ, регистров устройств ввода/вывода отдельных битов и битовых полей в регистрах ЦПЭ и УВВ. Введены также мнемонические обозначения адресов векторов прерывания.

Затем объявляется модуль main как доступный (PUBLIC) для других модулей. Делается указание компилятору установить адрес 0FFFEh (директива ORG 0FFFEh), соответствующий вектору прерывания при «сбросе» системы (RESET_VECTOR), с последующим размещением на этом месте точки входа init в процедуру инициализации (директива DC16 init).

Предварительно объявляется, что необходимо выделить память под стек (директива RSEG CSTACK) с указание на то, что выделенный под стек сегмент памяти будет перемещаемым.

В перемещаемой области памяти предлагается разместить и сегмент кода (директива RSEG CODE)

Программа инициализации микроконтроллера начинается с команды MOV #SFE(CSTACK), SP установки указателя стека SP, а основная программа – с метки main, где находится команда NOP (*No Operation*). В регистре управления сторожевым таймером WDTCTL устанавливаются биты WDTPW и WDTHOLD (см. их определения в файле msp430.h). В результате сторожевой тайме отключается (команда MOV.W #WDTPW+WDTHOLD,&WDTCTL). Возобновить его работу можно в процессе исполнения пользовательской программы.

Заканчивается шаблон кода переходом на метку (команда JMP $), которая является точкой входа в бесконечный цикл, где размещена основная часть программного кода для микроконтроллера.

8. Задания на лабораторную работу

Задание 1. Знакомство с микроконтроллером MSP430.

Целью данного задания является общее знакомство со средой разработки IAR Embedded Workbehch IDE и процессом отладки и программированияшивки микроконтроллера MSP430.

Этапы выполнения задания.

1. Запуск проекта.

1.1. Запустите среду разработки IAR Embedded Workbehch IDE, путём нажатия на ярлык программы на рабочем столе (рис. 8) или путём выбора программы из меню Пуск.

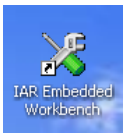


Рис. 8. Ярлык программы IAR Embedded Workbehch IDE на рабочем столе.

1.2. Откройте проект miganie_2 , путем нажатия пунктов меню File –> Open –> Workspace, и выбора проекта miganie_2.eww (рис. 9).

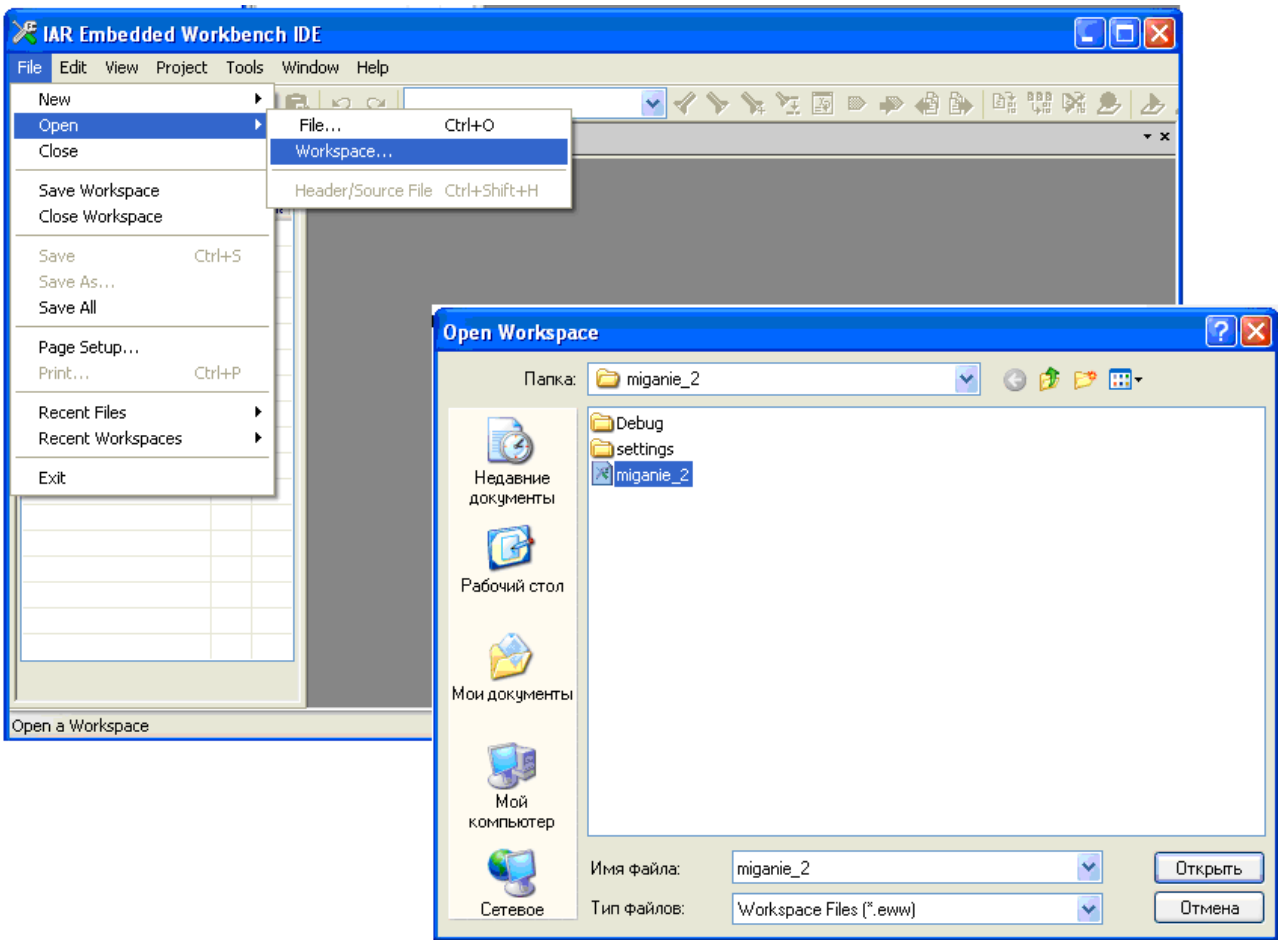


Рис. 9. Открытие проекта в IAR Embedded Workbehch IDE.

Вместо этих рисунков предлагаю тот, что выше.

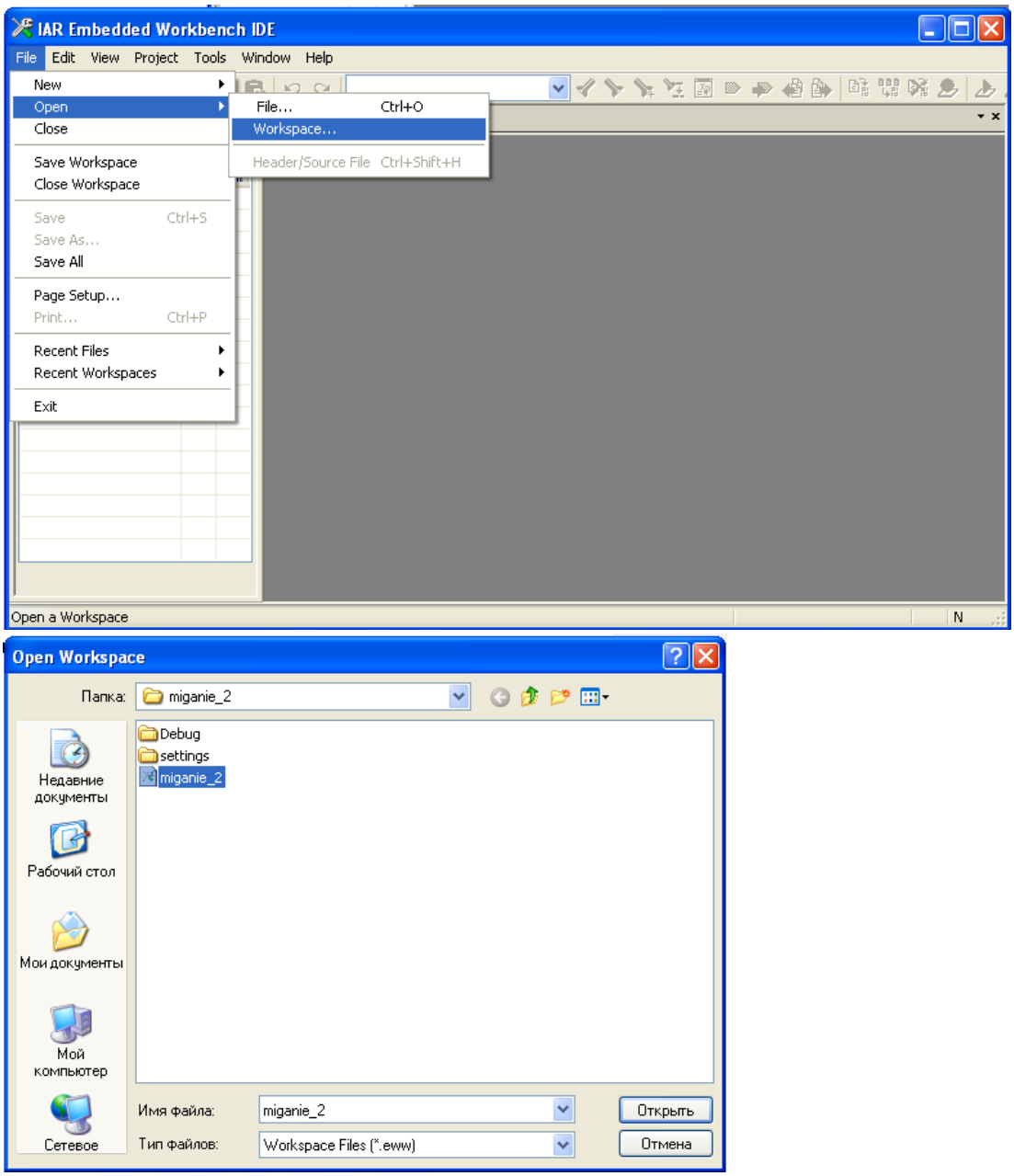


Рис. 9. Открытие проекта в IAR Embedded Workbehch IDE.

1.3. Изучите текст программы (листинг 2).

Листинг 2

```
#include "msp430x16x.h"    ; #define controlled include file
NAME    main               ; module name
PUBLIC main                ; make the main label vissible
                           ; outside this module
RSEG    CSTACK             ; pre-declaration of segment
RSEG    CODE               ; place program in 'CODE' segment
RESET   MOV  #SFE(CSTACK),SP  ; set up stack
        CALL #Setup
main
Mainloop    MOV.b &P6IN,R15
            AND.b #BIT1,R15
            JZ    Quater_Sec
            MOV   #8000h,&CCR0
            JMP   Mainloop
Quater_Sec  MOV   #2000,&CCR0
            JMP   Mainloop

Setup       MOV   #WDTPW+WDTHOLD,&WDTCTL

setupTA     MOV   #TASSEL0+TACLR, &TACTL
            BIS   #CCIE,& где операнд?
            MOV   #8000h,&CCR0
            BIS   #MC_1,&TACTL
            MOV.b #BIT0,&P6DIR
            EINT
            RET

CCR0INT     XOR.b #BIT0,&P6OUT
             RETI

COMMON    INTVEC
ORG       TIMERA0_VECTOR
DW        CCR0INT
ORG       RESET_VECTOR
DW        RESET
END                          Хорошо бы добавить комментарий
```

2. Выполнение программы в режиме эмуляции (*может симуляции?*).

2.1. В левом верхнем окне, отображающим иерархию проекта, наведите курсор на самый верхний файл Miganie_2-Debug, и нажмите правую клавишу мыши. В появившемся всплывающем списке выберите пункт Options (рис. 10).

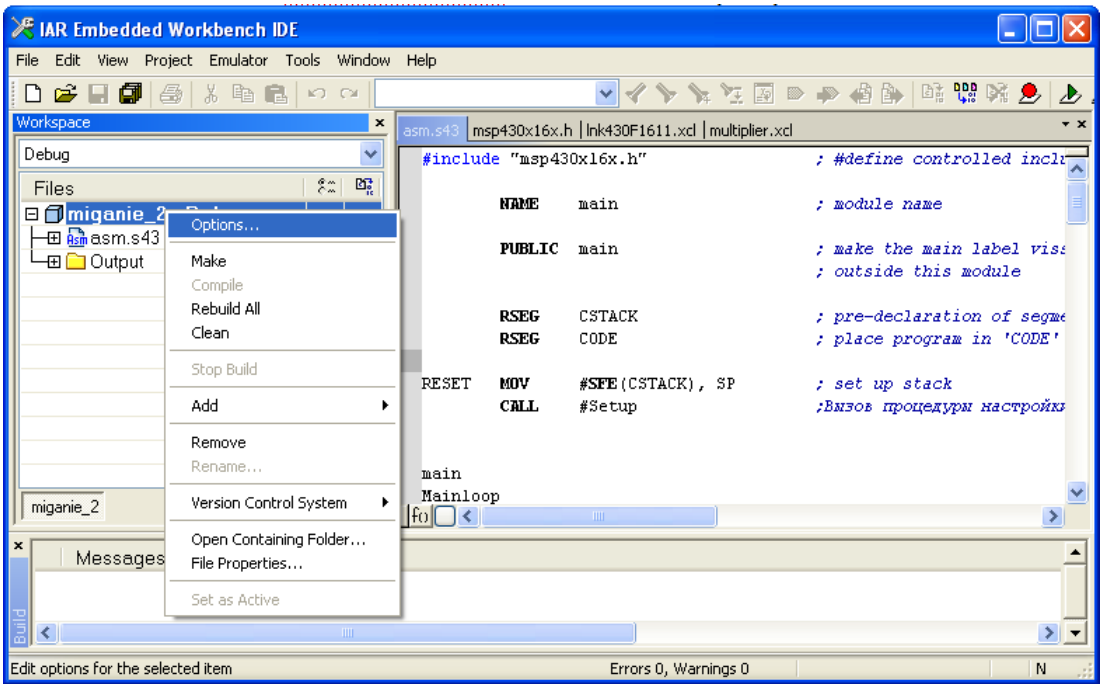
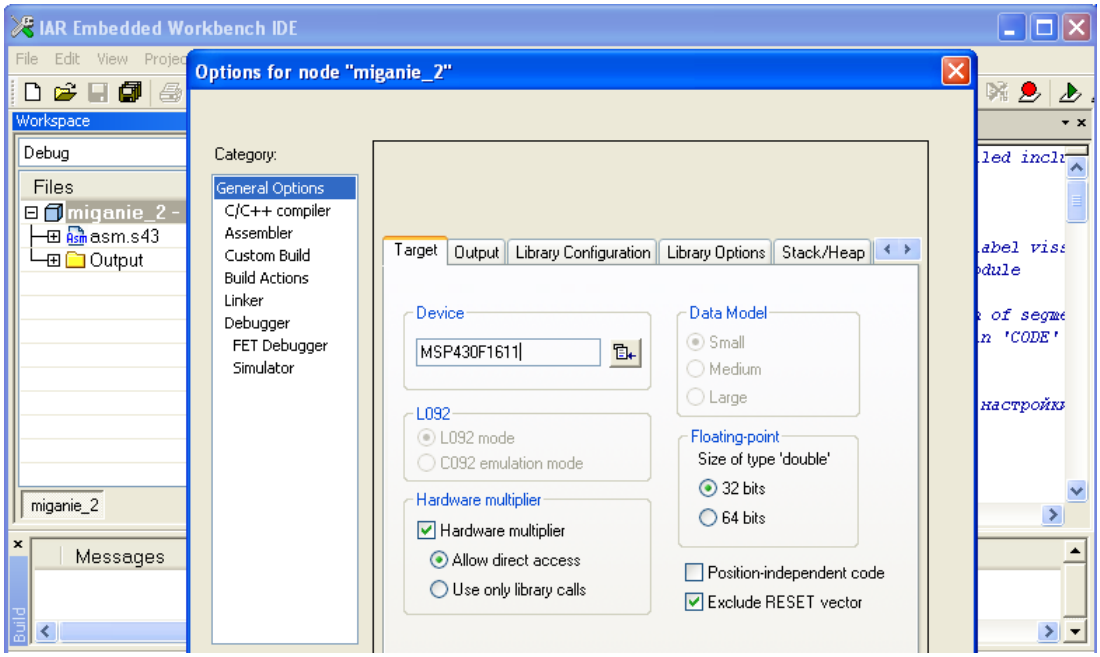


Рис. 10. Открытие опций проекта.

2.2. В появившемся окне настроек проекта установите параметры так, как показано на рис 11: Device – MSP430F1611, Driver – Simulator.



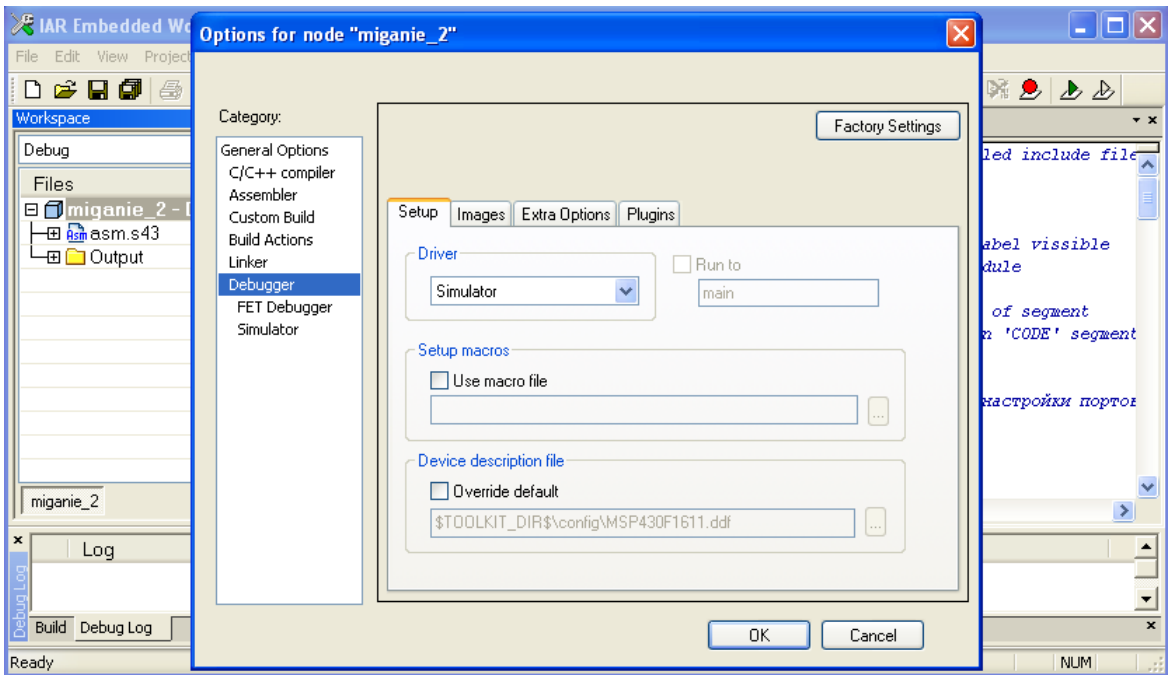


Рис. 11. Настройка опций проекта для симмуляции.

2.3. Закройте окно Options, нажав кнопку OK внизу окна. Запустите выполнение программы в режиме эмуляции (*симуляции?*), нажав на пиктограмму в виде зеленого треугольника, расположенную в верхней части окна программы, справа от ряда кнопок New, Open, Save all, или выбрав в меню Project пункт Download and debug (рис 12).

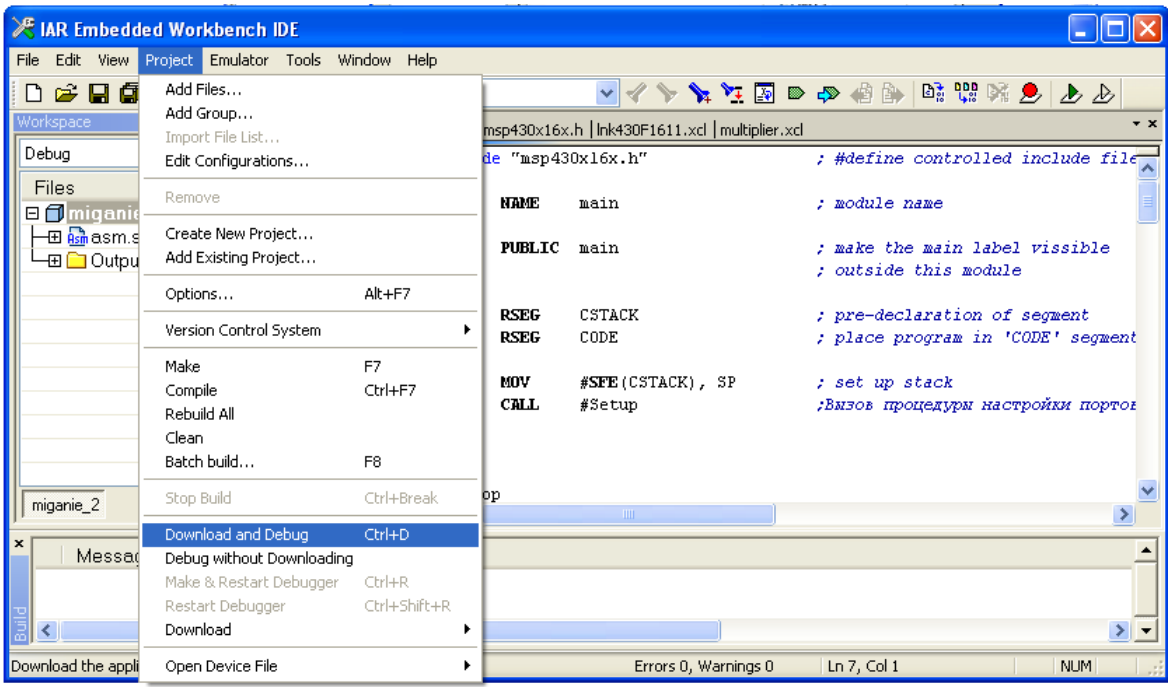
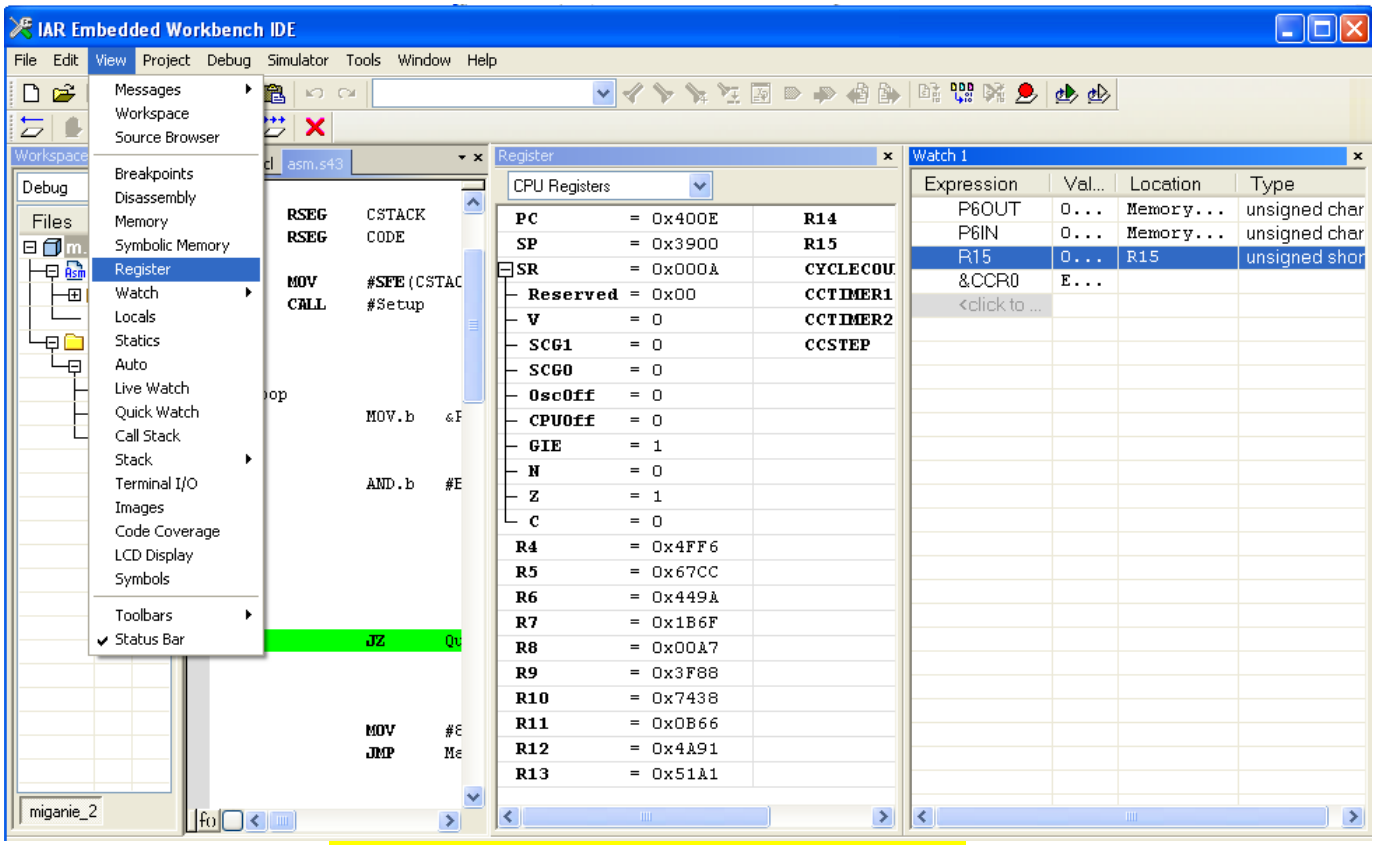


Рис. 12. Запуск проекта.

2.4. Откройте окна Register и Watch 1, воспользовавшись меню View (рис. 13). Выведите в окно Register регистры микроконтроллера (CPU Registers), воспользовавшись выпадающим окном в верхней части рабочего окна.



За пределами поля печати – обрезать справа?

Рис. 13. Использование окон при отладке проекта.

2.5. Нажимая на клавишу пошагового выполнения программы Step Into (рис. 14), выполните по шагам один цикл программы полностью. Какие строчки кода программы выполняются? Как и почему меняются значения регистров микроконтроллера в процессе выполнения программы?

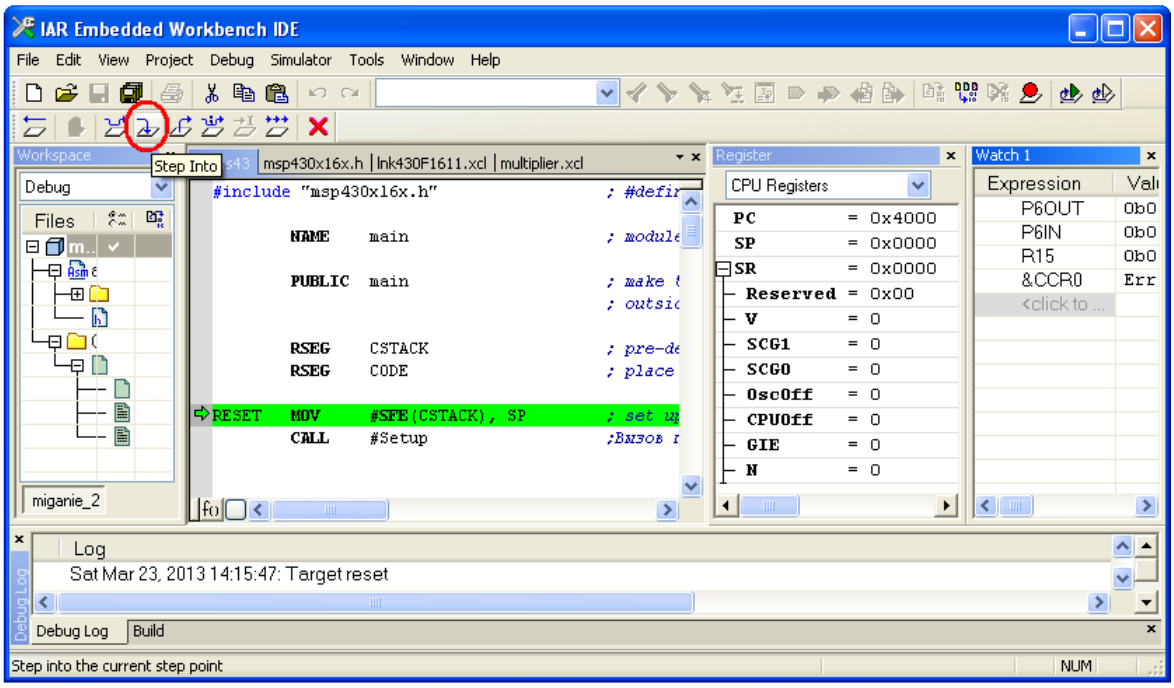
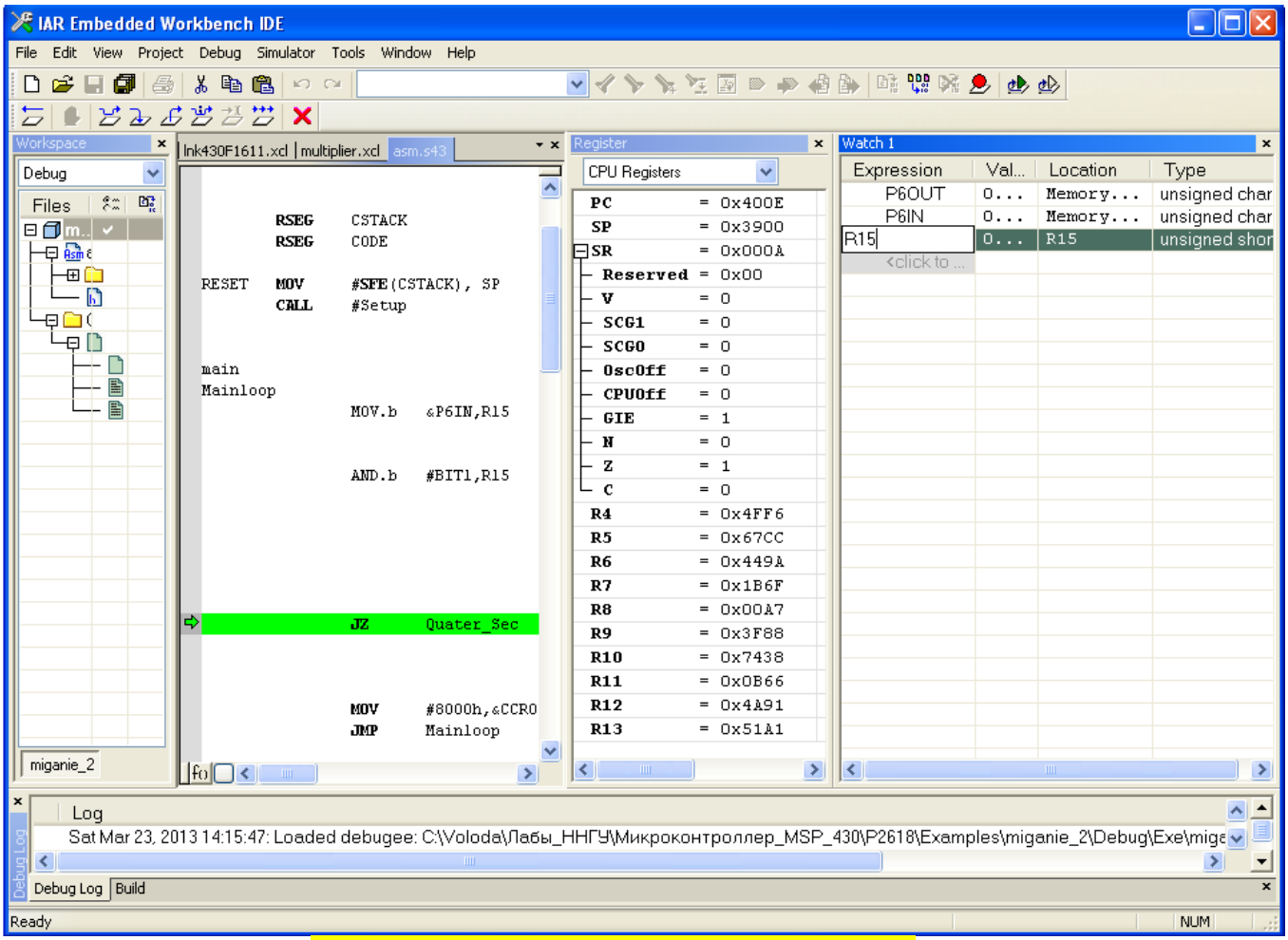


Рис. 14. Пошаговое выполнение проекта.



За пределами поля печати – обрезать справа?

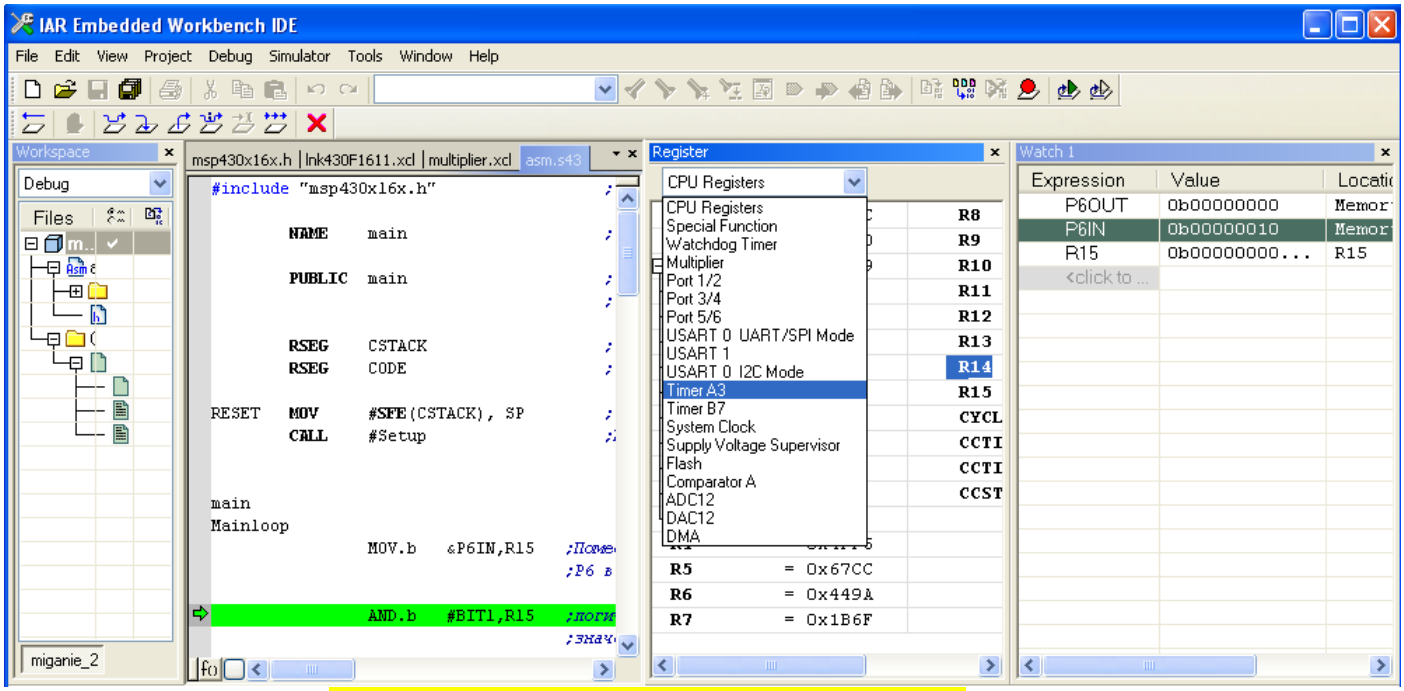
Рис. 15. Настройка окна Watch при отладке проекта.

2.6. В окне Watch 1 нажмите левой клавишей на первую свободную строчку в поле Expression, введите с клавиатуры название входного регистра P6IN (рис.15). Аналогично, введите название регистра процессора R15.

2.7. Измените значение регистра R15 таким образом, что бы период прерывания таймера стал равен 1 с. Значение регистра можно ввести с клавиатуры в поле Value окна Watch 1. При выполнении какой строчки программы нужно изменить значение регистра R15, что бы период прерываний изменился? Как долго период прерывания таймера будет равен 1 с.?

2.8. Измените значение входного регистра P6IN таким образом, что бы период прерывания таймера стал равен 1 с. Ответьте на вопросы: (1) при выполнении какой строчки программы нужно изменить значение регистра P6IN, чтобы изменился период запросов прерывания от таймера?; (2) как долго в этом случае период прерываний будет равен 1 с.?

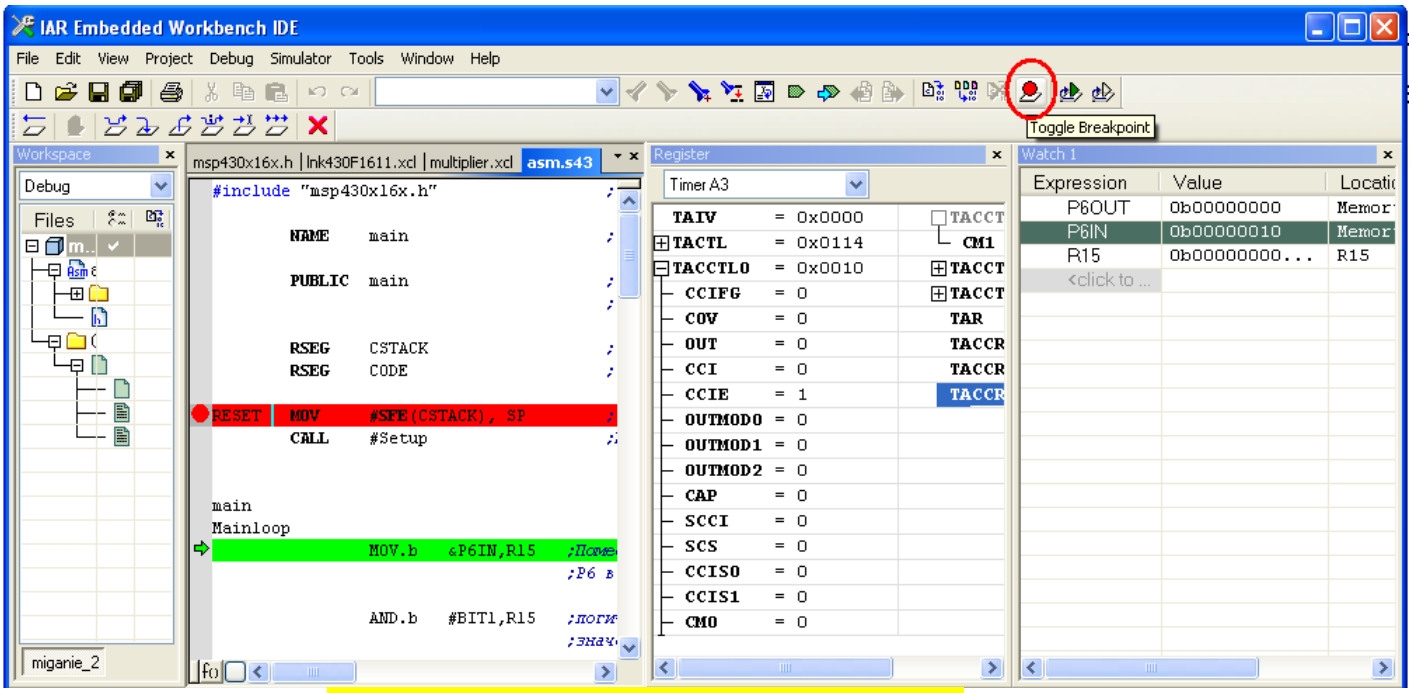
2.9. Выведите в окно Register значения регистров таймера A3, путем выбора соответствующего значения из выпадающего списка (рис. 16). Выполните по шагам один цикл работы программы при периоде прерываний 1 с. и 1/4 с. Какие регистры таймера меняются? Почему?



За пределами поля печати – обрезать справа?

Рис. 16. Настройка окна Register при отладке проекта.

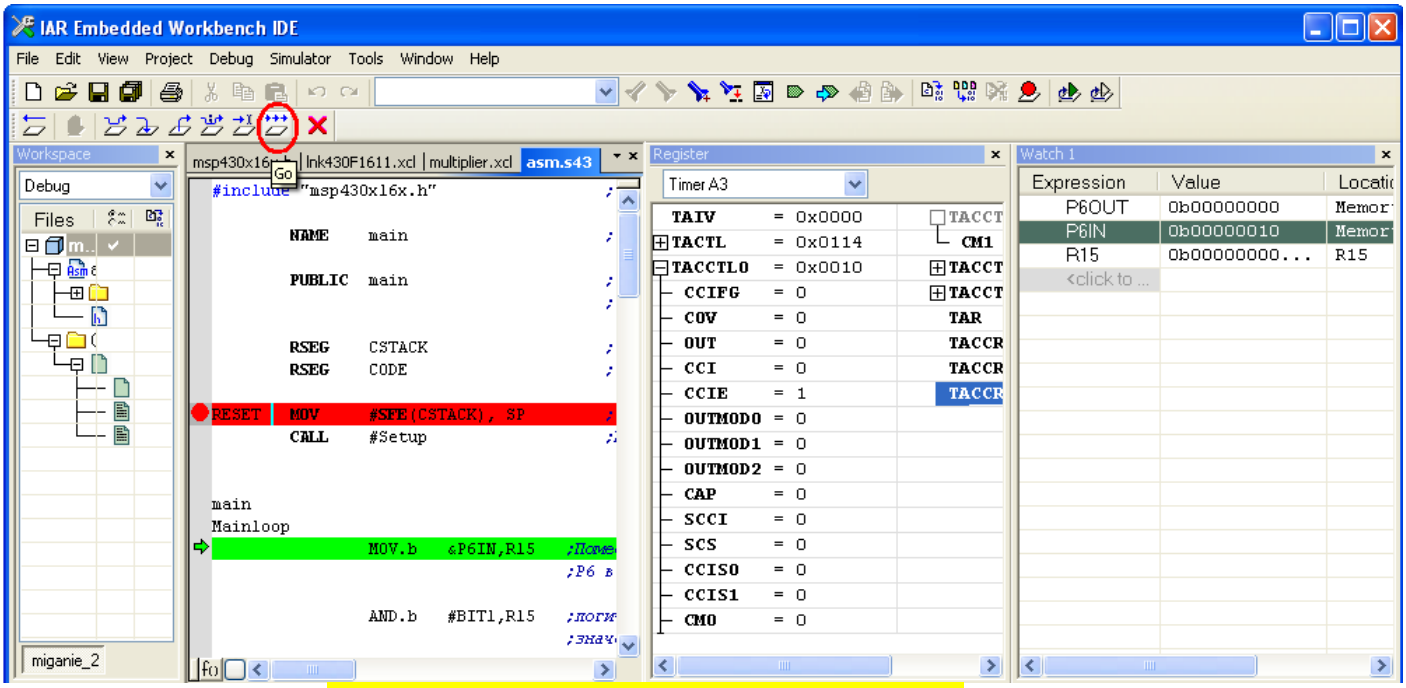
2.10. Установите точку останова break point на строчку с меткой Reset (рис. 17), отметив её позицию левой клавишей мыши. После этого нажмите на кнопку Toggle Breakpoint в правой верхней части рабочего окна. Обратите внимание на то, что помеченная строчка становится красной.



За пределами поля печати – обрезать справа?

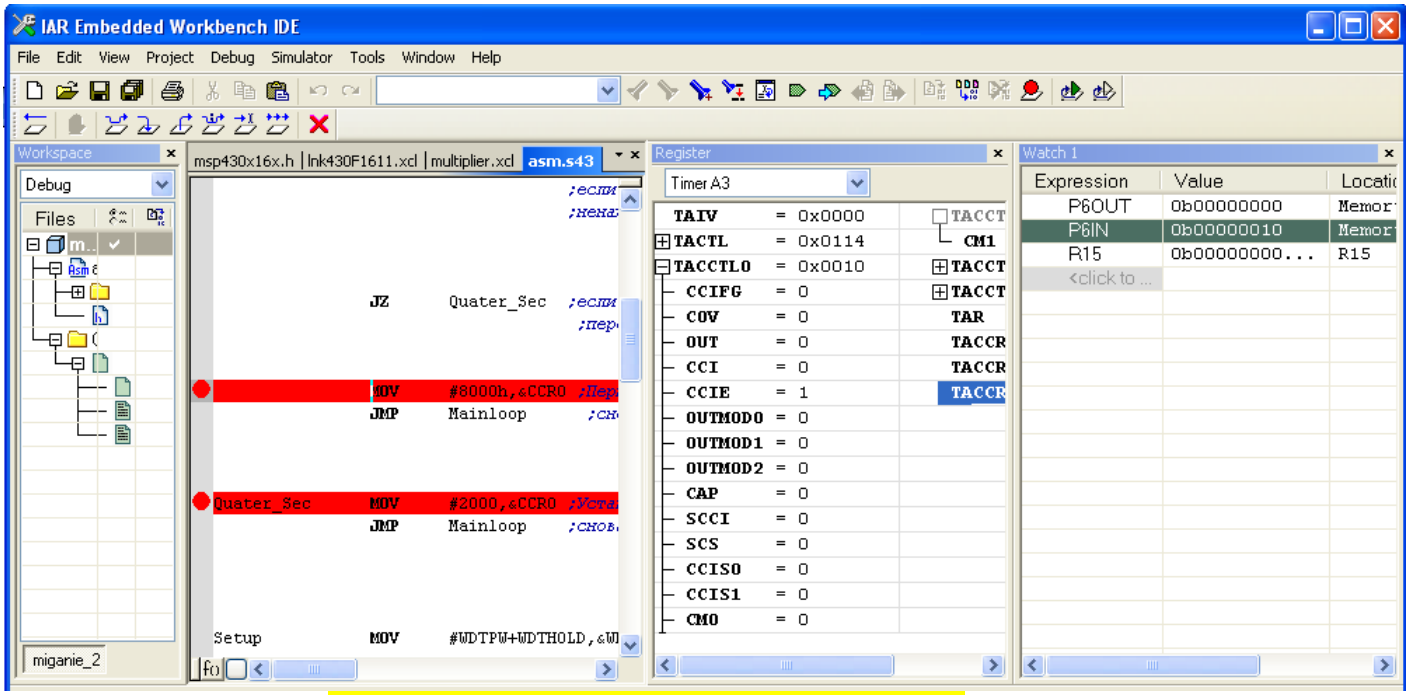
Рис. 17. Установка break point.

2.11. Запустите программу на выполнение, нажав кнопку Go (рис. 18). Обратите внимание на то, что выполнение программы остановится на строчке, где установлена метка break point.



За пределами поля печати – обрезать справа?

Рис. 18. Запуск программы в режиме отладки.



За пределами поля печати – обрезать справа?

Рис. 19. Установка двух точек break point.

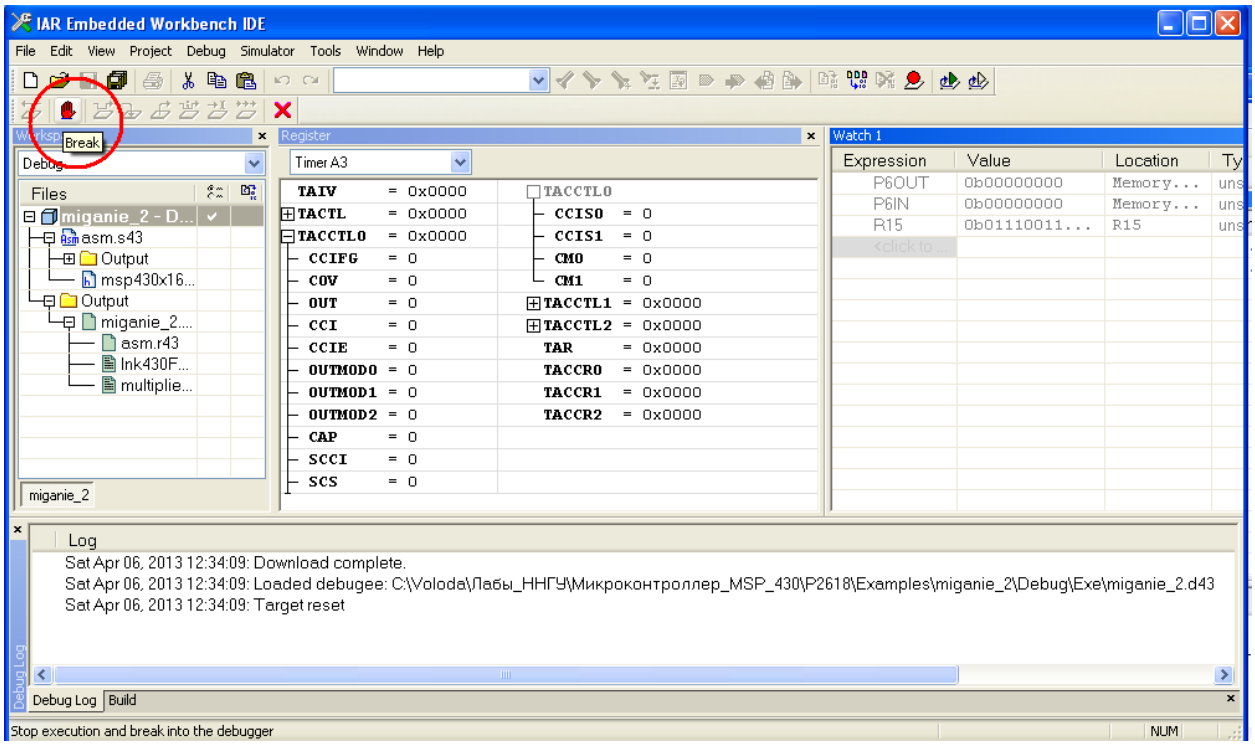


Рис. 20. Остановка выполнения программы.

2.12. Снимите метку break point со строчки с меткой Reset. Для этого ещё раз пометьте эту строчку левой клавишей мыши и нажмите на кнопку Toggle Breakpoint. После этого установите две новые точки останова break point там, где находятся команды, изменяющие режим работы таймера. Две строки с этими командами показаны на рис. 19. Несколько раз нажмите на кнопку Go.

Проследите, после выполнения какой команды будет прерываться программа и найдите этому объяснение. Что нужно сделать, чтобы изменить точку останова программы?

2.13. Снимите все точки останова, после чего остановите выполнение программы, нажав кнопку Break (рис. 20). Остановите процесс отладки программы, нажав клавишу Stop Debugging (рис. 21).

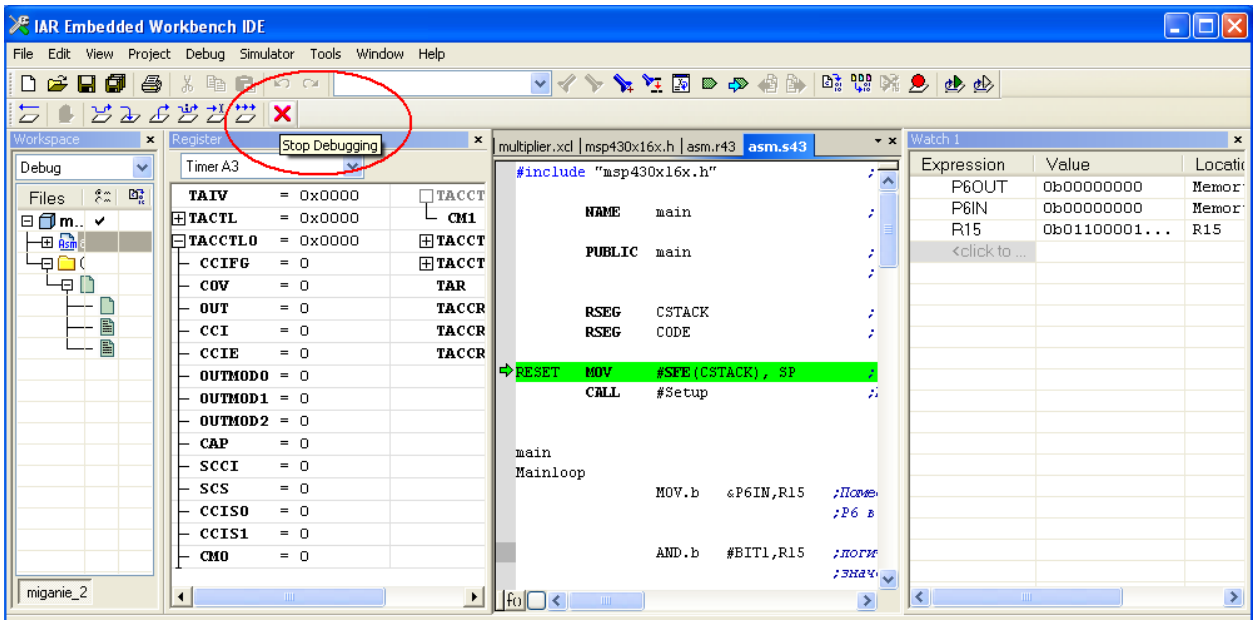


Рис. 21. Остановка отладки программы.

3. Программирование микроконтроллера и выполнение предназначенной для него программу после её отладки.

3.1. В окне настроек проекта установите параметры, соответствующие микроконтроллеру и типу JTAG установки, как показано на рис. 22а-б: Device – MSP430F1611, Driver – FET Debugger, Connection – Texas Instrument USB-IF. **Уточните тип микроконтроллера и JTAG установки, т.к. они могут отличаться от показанных на рисунке!**

3.2. Подключите JTAG к компьютеру и микроконтроллеру, как показано на рис. 1.

3.3. Запустите процесс программирования микроконтроллера, нажав кнопку Download and debug (рис. 12).

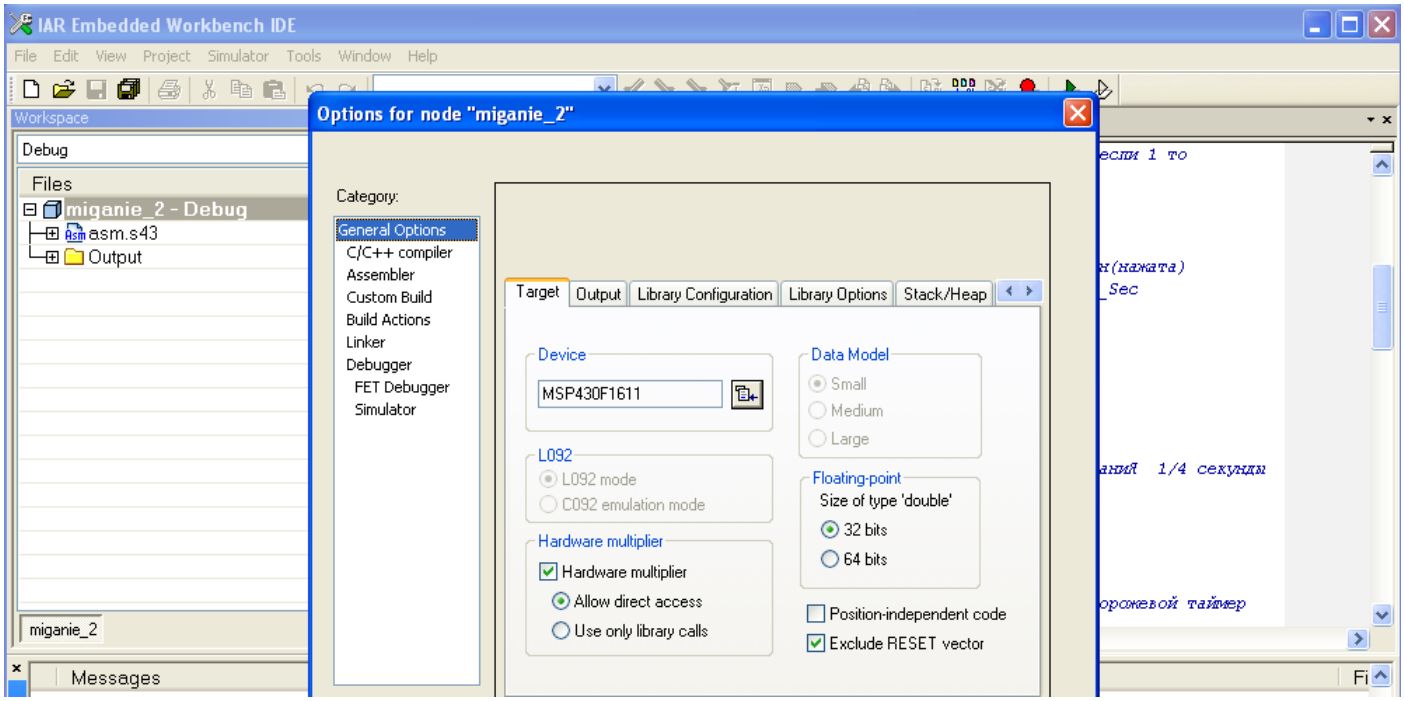
3.4. Выполните один цикл работы программы по шагам, нажимая клавишу Step Into (рис. 13). С каким периодом мигает диод?

3.5. Нажмите на кнопку, расположенную на отладочной плате. Выполните по шагам еще один цикл работы программы. Как меняется поведение диода?

3.6. Запустите программу, нажав кнопку Go (рис.18). Как теперь меняется поведение диода при нажатии клавиши?

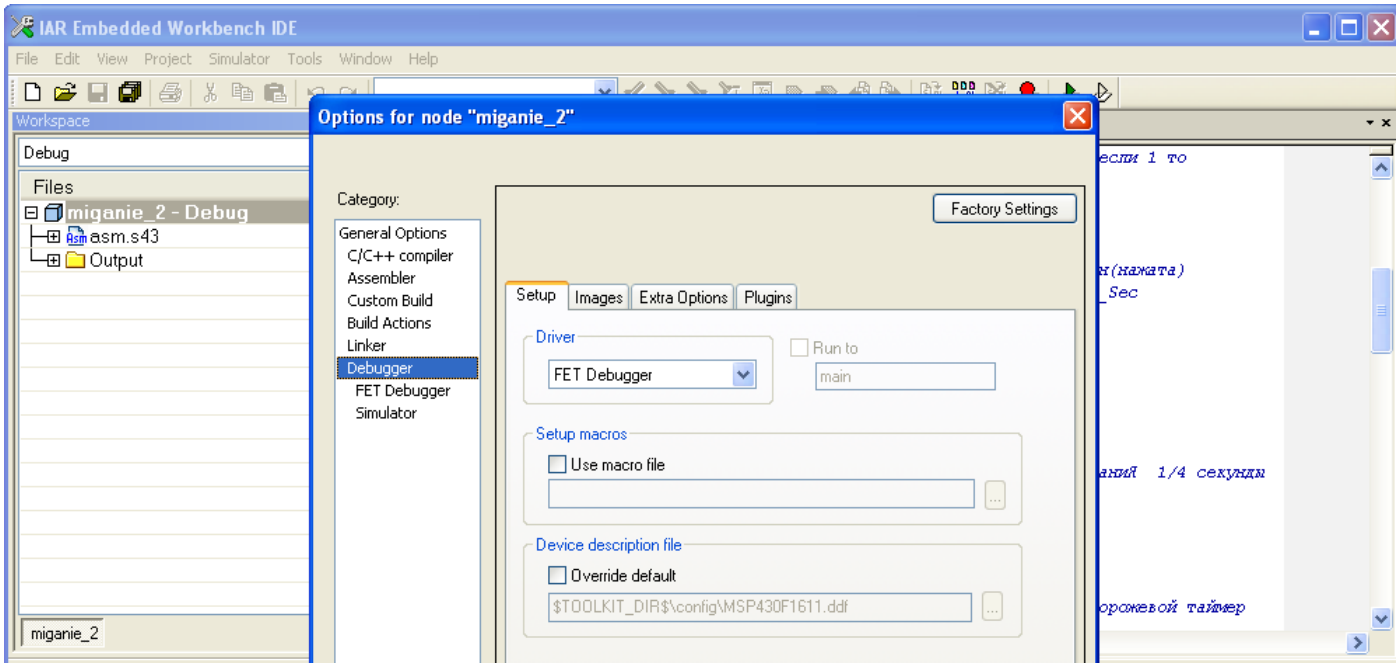
3.7. Остановите выполнение программы, нажав на кнопку Break (рис. 20).

а)



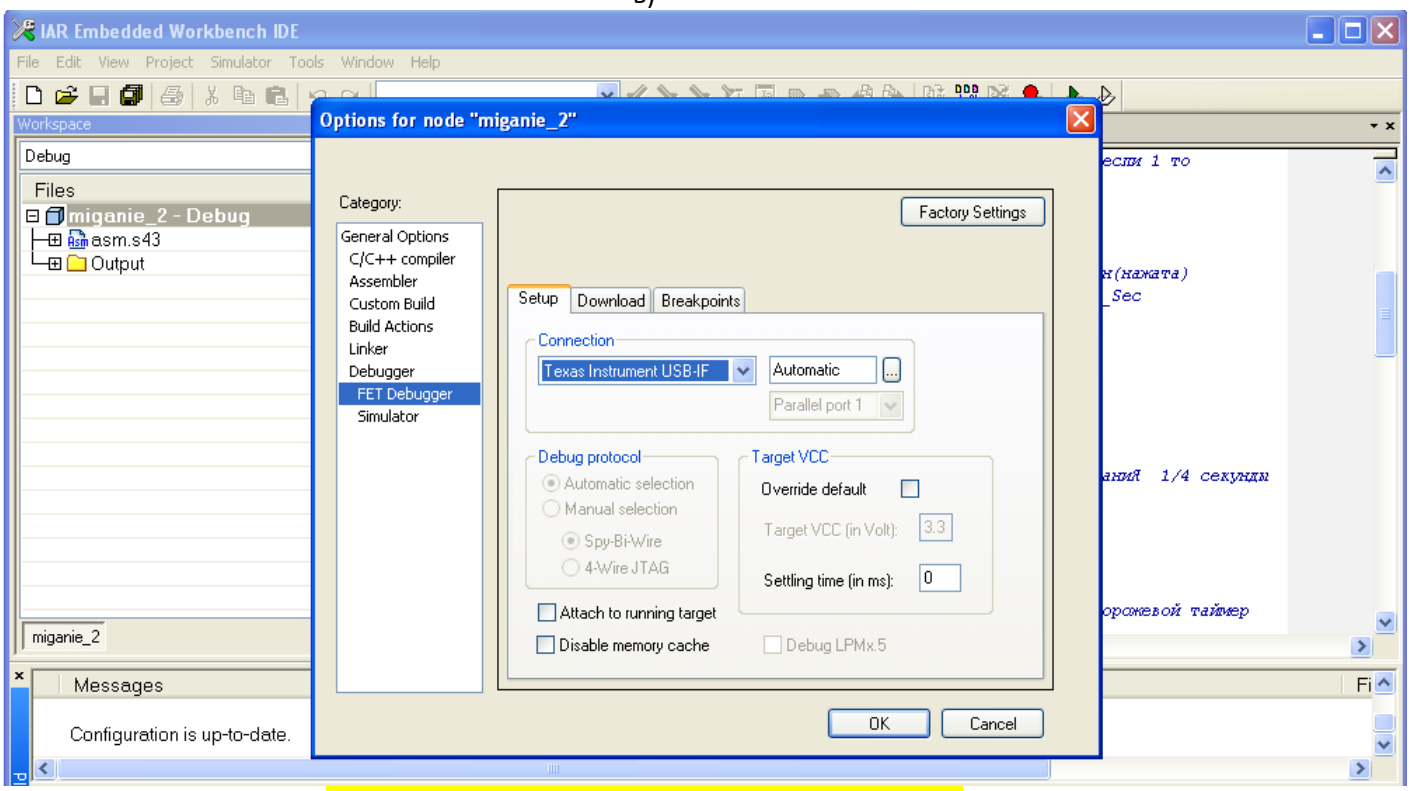
За пределами поля печати – обрезать справа?

б)



За пределами поля печати – обрезать справа?

в)



За пределами поля печати – обрезать справа?

Рис. 22. Настройка параметров проекта для выполнения в микроконтроллере.

3.8. Выполняя программу по шагам, отследите, как меняются значения регистров при нажатии клавиши на отладочной плате.

3.9. Повторите выполнение задания 2.7.

3.10. Запустите выполнение программы, нажав на кнопку Go. После этого остановите отладку программы, нажав на кнопку Break. Почему диод продолжает мигать?

3.11. Остановите процесс отладки программы, нажав кнопку Stop Debugging (рис. 21). Отсоедините JTAG от компьютера и отладочной платы.

Задание 2. Система с аналоговым вводом и аналоговым выводом

Данное задание включает обработку вводимого от ГСС сигнала, включая управление процессом дискретизации и преобразования к цифровому виду, цифровую обработку по составленной студентом программе и вывод через цифро-аналоговый преобразователь. Основной задачей работы является изучение механизма ввода данных от АЦП, вывода на ЦАП, а также способа конфигурации используемого в операциях ввода/вывода многофункционального порта P6 общего назначения.

Этапы выполнения задания

1. Изучить программу, управляющую вводом аналогового сигнала через АЦП и выводом через ЦАП (листинг 3).

Листинг 3

```
#include "msp430x16x.h"
;------------ ------------------------------------------------
            RSEG    CSTACK           ; Define stack segment
;----------------- ----------------- ----------------------
            RSEG    CODE             ; Assemble to Flash memory
;---------------------- ------------------------------------
RESET       mov.w   #SFE(CSTACK),SP
StopWDT     mov.w   #WDTPW+WDTHOLD,&WDTCTL   ; Остановка WDT
SetupADC12  mov.w   #SHT0_2+ADC12ON+REFON+REF2_5V,&ADC12CTL0
                                             ; Включить ADC12
            mov.w   #SHP,&ADC12CTL1
            ;mov.w   #01h,&ADC12IE
            bis.w   #ENC,&ADC12CTL0
;--------------------------- ----------------------------------
SetupDAC12  mov.w   #DAC12IR+DAC12AMP_5+DAC12ENC,&DAC12_0CTL
;------------------------------ ----------------------------
TimerA      MOV     #TASSEL0+TACLR,&TACTL  ;Настройка таймера А
            BIS     #CCIE,&CCTL0           ;Период таймера А
            MOV     #0CCCh,&CCR0
            BIS     #MC0, &TACTL
            EINT
;-------------------------------------------------------------
            bis.b   #BIT2,&P6SEL    ; P6.2 – вход канала 0 АЦП
            bis.b   #BIT0,&P6DIR
            mov.b   #000h,&P6OUT

Mainloop    bis.w   &ADC12SC,&ADC12CTL0
DELAY       MOV.b   #010h,R14
loop        DEC.b   R14
            JNZ     loop
            MOV.w   #ADC12MEM0,R15
            mov.w   R15,&DAC12_0DAT
            XOR.b   #01h,&P6OUT
            BIS     #LPM3,SR             ; Установить режим LPM3
            jmp     Mainloop
;------------------------------------------------------------ ---
ADC12_ISR   reti
;-------------- ---------- ------------------------------------
TimerA_ISR  BIC     #LPM3,0(SP)
            reti
;----------------- ------------------------------------------
            COMMON  INTVEC               ; Interrupt Vectors
;-------------------- ----------------------------------------
            ORG     TIMERA0_VECTOR       ; Timer_A0 Vector
            DW      TimerA_ISR
            ORG     ADC12_VECTOR         ; ADC12 Vector
            DW      ADC12_ISR
```

```
ORG     RESET_VECTOR          ; POR, ext. Reset
DW      RESET
END
```

2. Изучить механизм переключения режимов работы микроконтроллера.

4. Изучить способ управления аналого-цифровым и цифро-аналоговым преобразователями.

4. Изучить способ конфигурации порта P6 для работы с АЦП и ЦАП.

5. Изучить способ управления частотой дискретизации и роли Таймера А в процессе дискретизации.

6. Изучить действие системы прерываний и роли системы прерываний в процессе инициализации системы и при работе с таймером.

7. Откомпилировать программу, представленную листингом 3 и загрузить её во flash-память МК. Подключить к плате целевой системы измерительные приборы и проверить функционирование целевой системы после нажатия кнопки RST.

8. Составить программу обработки оцифрованного сигнала и определить её место в программе, представленной листингом 3. Откомпилировать полученную программу и повторить действия, указанные в п.п 7.

Задание 3_____.

5. Содержание отчета

6. Контрольные вопросы

1. Что такое .h файл и для чего он нужен?
2. Зачем нужны строчки «NAME main», «PUBLIC main» и просто «main»? Что они делают?
3. В какой области памяти в микропроцессоре размещается написанный и скомпилированный код? Что такое ОЗУ, ПЗУ, флеш-память?
4. Как в программе обрабатывается событие ресет? Что такое вектор прерывания «RESET_VECTOR»? Какое значение туда записывается?
5. Что обозначает .b в конце команд AND и MOV в тексте программ?
6. Режимы адресации. Что обозначает #, & перед операндами в тексте программы?
7. Что такое флаги АЛУ? Что является условием для операции условного перехода JZ?
8. Что такое прерывания? Зачем они нужны? Как происходит их обработка и чем она отличается от вызова функций?

9. Как происходит настройка таймера А? Как устанавливается направление счета, максимальное значение, источник тактовой частоты для таймера? какие прерывания от таймера разрешаются? Как происходит запуск и остановка таймера?

Список литературы (*можно дополнять*)

1. Семенов Б.Ю. Микроконтроллеры MSP430. Первое знакомство, М.: Изд-во «Солон-пресс», 2006, 120 с.
2. Шкелев Е.И. Электронные цифровые системы и микропроцессоры. Учебное пособие. //Н.Новгород: Изд.ННГУ, 2004, 152 с.
3. Цифровые процессоры обработки сигналов. Справочник. // Под редакцией А.Г. Остапенко. – М.: Радио и связь, 1994.
4. Электронная версия руководства пользователя (оригинал) MSP430x1xx_Family_User's_Guide_(Rev._F)_slau049f.pdf
5. Электронный учебный курс по MSP 430. // http://we.easyelectronics.ru/blog/msp430/page3/

Нижегородский государственный университет
им. Н.И.Лобачевского

Радиофизический факультет

Кафедра радиотехники

ЦИФРОВЫЕ ФИЛЬТРЫ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ

Отчет по лабораторной работе

Исполнители:
студенты IV курса гр.446
Петров А.А.
Андреева И.Н.

Работу принял:
доцент Бугров В.Н.

Н.Новгород, 2010