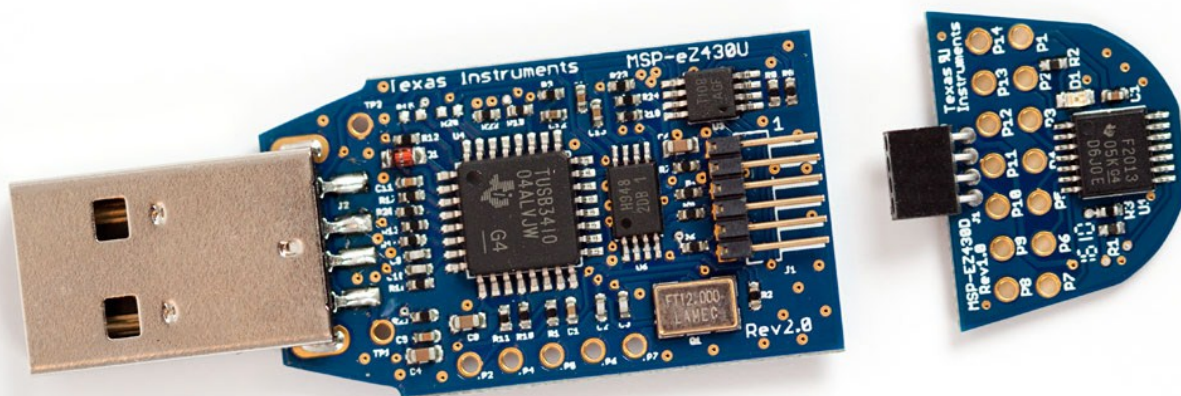


# Texas Instruments MSP430

## Мікропроцесорні системи МІКРОКОНТРОЛЕРИ СІМЕЙСТВА MSP430x2xx Теорія та практика



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**МІКРОПРОЦЕСОРНІ СИСТЕМИ  
МІКРОКОНТРОЛЕРИ СІМЕЙСТВА  
MSP430x2xx  
ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА**

Навчальний посібник

Вінниця  
ВНТУ  
2015

**УДК 004.3(075)**  
**ББК 32.973-04 я 73**  
**М91**

Автори:

**Кветний Р. Н., Маслій Р. В., Гармаш В. В., Бойко О. Р.**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Системна інженерія». Лист № 1/11–19738 від 15.12.2014 р.

Рецензенти:

**В. М. Лисогор**, доктор технічних наук, професор

**М. П. Мусієнко**, доктор технічних наук, професор

**Г. В. Порєв**, доктор технічних наук, професор

**Мікропроцесорні системи. Мікроконтролери сімейства М91 MSP430x2xx. Теорія та практика : навчальний посібник / [Кветний Р. Н., Маслій Р. В., Гармаш В. В., Бойко О. Р.] – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 107 с.**

**ISBN 978-966-641-634-9**

Навчальний посібник присвячений теоретичним та практичним аспектам дослідження мікроконтролерів з наднизьким енергоспоживанням сімейства MSP430x2xx компанії Texas Instruments.

У теоретичній частині розглянуто периферійні модулі, реалізовані в мікроконтролерах сімейства, система переривань та режими роботи. Практична частина присвячена програмуванню мікроконтролера MSP430F2013 на базі пристрою eZ430-F2013 мовою C/C++ у середовищах розробки Code Composer Essential та IAR Embedded Workbench. Навчальний посібник призначений для студентів на пряму підготовки «Системна інженерія».

**УДК 004.3(075)**

**ББК 32.973-04 я 73**

**ISBN 978-966-641-634-9**

© Р. Кветний, Р. Маслій, В. Гармаш, О. Бойко, 2015

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1 ІНТЕГРОВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ РОЗРОБКИ IAR EMBEDDED WORKBENCH .....	8
1.1 Загальна характеристика IDE IAR Embedded Workbench .....	8
1.2 Створення проекту в IDE IAR Embedded Workbench.....	9
1.3 Виконання програми на C/C++ у інтегрованому середовищі розробки .....	14
2 ІНТЕГРОВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ РОЗРОБКИ CODE COMPOSER ESSENTIALS .....	17
2.1 Загальна характеристика IDE Code Composer Essentials.....	17
2.2 Створення проекту в IDE Code Composer Essentials .....	19
3 ІНСТРУМЕНТ РОЗРОБНИКА eZ430-F2013 .....	25
3.1 Загальні відомості.....	25
3.2 Практичне завдання .....	28
4 СИСТЕМА ПЕРЕРИВАНЬ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ.....	30
4.1 Загальні відомості.....	30
4.2 Немасковані переривання.....	30
4.3 Масковані переривання .....	32
4.4 Вектори переривань .....	34
4.5 Режими роботи мікроконтролера .....	35
4.6 Практичне завдання .....	38
5 ПОРТИ ВВЕДЕННЯ/ВИВЕДЕННЯ.....	40
5.1 Загальні відомості.....	40
5.2 Регістри.....	43
5.3 Практичне завдання .....	46
6 МОДУЛЬ СИНХРОНІЗАЦІЇ BASIC CLOCK .....	49
6.1 Загальні відомості.....	49
6.2 Функціонування модуля синхронізації .....	50
6.3 Джерела тактового сигналу.....	51
6.4 Регістри модуля Basic Clock.....	54
6.5 Практичне завдання .....	56
7 СТОРОЖОВИЙ ТАЙМЕР .....	60
7.1 Загальні відомості.....	60
7.2 Переривання сторожового таймера .....	62
7.3 Практичне завдання .....	64
8 TIMER_A.....	67
8.1 Загальні відомості.....	67
8.2 Режими роботи Timer_A.....	69
8.3 Практичне завдання .....	75
9 ФЛЕШ-ПАМ'ЯТЬ .....	79

9.1 Загальні відомості.....	79
9.2 Функціонування флеш-пам'яті .....	81
9.3 Регістри контролера флеш-пам'яті.....	83
9.4 Практичне завдання .....	86
10 МОДУЛЬ ЦИФРО-АНАЛОГОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ SD16_A.....	90
10.1 Загальні відомості.....	90
10.2 Регістри модуля Basic Clock.....	93
10.3 Практичне завдання .....	96
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА .....	103
СЛОВНИК НАЙБІЛЬШ ВЖИВАНИХ ТЕРМІНІВ.....	105

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ACLK – Auxiliary CLoCK (допоміжний тактовий сигнал)
- ADC – Analog-to-Digital Converter (аналого-цифровий перетворювач, АЦП)
- AM – Active mode (активний режим)
- BOR – Brown Out Reset (скидання при пониженні напруги живлення)
- CCE – Code Composer Essentials
- CPU – Central Processing Unit – центральний процесор
- DAC – Digital-to-Analog Converter (цифро-аналоговий перетворювач, ЦАП)
- DCO – Digitally Controlled Oscillator (генератор з цифровим управлінням)
- GIE – General Interrupt Enable (загальний дозвіл переривань)
- IDE – Integrated Development Environment (інтегроване середовище розробки)
- I/O – Input/Output (введення/виведення)
- ISR – Interrupt Service Routine (процедура обробки переривань)
- ISP – In-System Programming (внутрішньосхемне програмування)
- LSB – Least-Significant Bit (молодший значущий біт)
- LSD – Least-Significant Digit (молодший значущий розряд)
- LPM – Low-Power Mode (режим пониженого енергоспоживання)
- MAB – Memory Address Bus (шина адреси)
- MCLK – Master CLoCK (основний тактовий сигнал)
- MDB – Memory Data Bus (шина даних)
- MSB – Most-Significant Bit (старший значущий біт)
- MSD – Most-Significant Digit (старший значущий розряд)
- NMI – Non-Maskable Interrupt (немасковане переривання)
- PC – Program Counter (лічильник команд)
- POR – Power-On Reset (скидання за ввімкненням живлення)
- PUC – Power-Up Clear (очищення за ввімкненням живлення)
- ROM – Read Only Memory (пам'ять тільки для читання)
- RAM – Random Access Memory (пам'ять з довільним доступом)
- SFR – Special Function Register (регістр спеціальних функцій)
- SMCLK – Sub-system Master CLoCK (додатковий тактовий сигнал)
- SP – Stack Pointer (покажчик стека)
- SR – Status Register (регістр стану)
- TOS – Top-of-Stack (вершина стека)
- WDT – WatchDog Timer (сторожовий таймер)
- R/W – Read/Write (зчитування/записування)
- R/O – Read only (тільки зчитування)
- ОЗП – оперативно запам'ятовувальний пристрій
- ПЗП – постійно запам'ятовувальний пристрій

## ВСТУП

Компанія Texas Instruments на сьогоднішній день є світовим лідером в області цифрових сигнальних процесорів (*processors*) і технологій обробки аналогових сигналів (*signals*).

В 1999 році компанія Texas Instruments почала виробництво сімейства флеш-RISC 16-бітних програмно/конструктивно сумісних мікроконтролерів (*microcontrollers*) MSP430, що характеризуються наднизьким енергоспоживанням (*ultra-low power*). Мікроконтролери MSP430 – це процесори для обробки змішаних (аналогових та цифрових) сигналів (Mixed Signal Processor – MSP).

Завдяки своїм унікальним характеристикам мікроконтролери серії MSP430 завоювали широку популярність у розробників електронної техніки. Жоден з визнаних світових лідерів у виробництві мікроконтролерів не може запропонувати ринку виріб, здатний конкурувати з MSP430 за співвідношенням ціна/якість, рівнем управління енергоспоживанням, набором розміщених на кристалі вузлів.

Сьогодні серія мікроконтролерів MSP430 включає більше 100 різних модифікацій, які мають флеш-пам'ять від 1 до 128 кілобайтів і кількість виводів від 14 до 100, що дозволяє підібрати ідеальне рішення для різних додатків (*applications*).

За останні роки видано лише невелику кількість книг російською та українською мовами, які присвячені дослідженню мікроконтролерів MSP430. Ці літературні джерела значною мірою присвячені теоретичним аспектам дослідження мікроконтролерів MSP430. Практичне використання мікроконтролерів у цих посібниках обмежується елементами програмування мовою асемблер (*assembler*). При цьому програмуванню мікроконтролерів MSP430 мовами C/C++ не приділяється уваги.

Даний посібник є продовженням серії посібників, що присвячена вивченню мікроконтролерів MSP430. Першим у серії є посібник «MSP-430. Базова модель. Архітектура. Адресація. Система команд».

У даному посібнику пропонується теоретичне та практичне дослідження сімейства мікроконтролерів з наднизьким енергоспоживанням MSP430x2xx на базі інструмента розробника (*development tool*) eZ430-F2013. У практичних завданнях, поданих у посібнику, здійснюється програмування пристрою (*device*) eZ430-F2013 мовами C/C++.

Інструмент розробника eZ430-F2013 призначений для розробки і налагодження додатків на базі мікроконтролера фірми Texas Instruments MSP430F2013. Він включає в себе програмні (*software*) та апаратні засоби (*hardware*) в зручному форм-факторі USB-stick. Для розробки додатків і забезпечення повної емуляції до інструмента розробника входять інтегровані середовища розробки (*integrated development environment*) IAR Embedded Workbench та Code Composer Essential. Крім того, конструктивом інструме-

нта розробника передбачена заміна знімної плати (*detachable target board*) зовнішнім пристроєм за допомогою спеціально відведених виводів (*pins*). Оскільки інструмент розробника призначений для використання з мікроконтролерами з наднизьким споживанням, живлення пристрою забезпечується USB-інтерфейсом (*interface*) комп'ютера (*computer*), і зовнішні джерела при цьому не потрібні.

В першому розділі наведено короткий опис IDE IAR Embedded Workbench, покрокову інструкцію створення, компіляції, налагоджування (*debugging*) та запуску проекту (*project*) на виконання, а також розглянуто послідовність виконання програми у інтегрованому середовищі розробки.

В другому розділі наведено короткий опис IDE Code Composer Essentials та покрокову інструкцію створення, компіляції, налагоджування та запуску проекту на виконання.

Третій розділ присвячений інструменту розробника eZ430-F2013.

У четвертому розглядаються система переривань (*interrupt system*) та режими роботи (*operation modes*) мікроконтролера MSP430F2013.

У п'ятому розділі розглядаються порти введення/виведення (*input/output ports*) мікроконтролера MSP430F2013.

У шостому розділі досліджується модуль синхронізації (*synchronization module*) Basic Clock мікроконтролера MSP430F2013.

Сьомий розділ присвячений ознайомленню зі сторожовим таймером (*watchdog timer*) мікроконтролера MSP430F2013.

У восьмому розділі досліджується робота Timer\_A мікроконтролера MSP430F2013.

Дев'ятий розділ присвячений дослідженню роботи флеш-пам'яті (*flash memory*) мікроконтролера MSP430F2013.

У десятому розділі розглядається модуль цифро-аналогового перетворення (*digital-to-analog conversation*) SD16\_A мікроконтролера MSP430F2013.

Практичні завдання, подані у посібнику, можуть використовуватися у дисциплінах: «Мікропроцесорні системи», «Проектування та програмування МПС», «Основи збору, передавання та обробки інформації», «Цифрові системи», «Функціональні перетворювачі СУА» а також використовуватися студентами напряму «Системна інженерія», студентами суміжних напрямів.

Розділ 1-2 посібника підготовлено В. В. Гармашем та Р. В. Маслієм, розділи 3-4 – Р. Н. Кветним та О. Р. Бойко, розділ 5 – Р. В. Маслієм, розділ 6 – Р. Н. Кветним та В. В. Гармашем, розділ 7 – Р. В. Маслієм, розділ 8 – В. В. Гармашем та О. Р. Бойко, розділ 9 – Маслієм Р. В. та Гармашем В. В., розділ 10 – Р. Н. Кветним та Р. В. Маслієм. Загальну редакцію посібника здійснено Р. Н. Кветним.



# 1 ІНТЕГРОВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ РОЗРОБКИ IAR EMBEDDED WORKBENCH

## 1.1 Загальна характеристика IDE IAR Embedded Workbench

IAR Embedded Workbench для MSP430 – це потужне інтегроване середовище розробки і налагодження програм для мікроконтролерів MSP430 за допомогою мов C, C++ та асемблера. Середовище забезпечує розширену підтримку пристроїв MSP430 і створює дуже компактний і ефективний код (*program code*).

В комплект IAR Embedded Workbench входять:

- компілятор (*compiler*) мови C/C++;
- асемблер;
- компонувальник (*linker*);
- налагоджувач (*debugger*);
- редактор.

IAR Embedded Workbench забезпечує можливість взаємодії з зовнішніми програмами (*program*).

Особливості компілятора мови C/C++:

- один з кращих компіляторів за ефективністю коду;
- повна сумісність з ANSI C;
- кілька моделей для ефективного розподілу пам'яті;
- алгоритми оптимізації спеціально для мікроконтролерів MSP430;
- розширення мови для вбудованих систем (*embedded systems*).

Особливості асемблера:

- інтегрований макроасемблер для додатків реального часу (*real time*);
- включає препроцесор для компілятора C.

Особливості компонувальника:

- підтримує повне компонування, розміщення і створення формату;
- підтримує більше 30 стандартних вихідних форматів для використання спільно з внутрішньосхемними емуляторами (*emulator*);
- завантаження модулів тільки за необхідності.

Особливості налагоджувача:

- налагодження кодів C, C++ та асемблера;
- різні точки зупину (*breakpoint*);
- мова опису периферії та операцій введення/виведення;
- перегляд областей CODE, DATA, EEPROM та регістрів (*registers*) введення/виведення;
- обробка переривань з прогнозом;
- контроль будь-яких змінних і стека (*stack*);
- комплексні типи даних.

Особливості редактора вихідного тексту:

- зручний інтерфейс користувача;
- автоматичне виділення помилок;
- зручна панель інструментів;
- виділення директив C/C++;
- розвинені засоби пошуку.

Вбудований редактор спеціально налаштований на синтаксис мови C, а додаткові утиліти і вбудована система допомоги додатково полегшують написання програм.

## 1.2 Створення проекту в IDE IAR Embedded Workbench

Нижче приводиться опис покрокової процедури (*procedure*) створення проекту в інтегрованому середовищі IAR Embedded Workbench.

1. Запустити середовище IAR Embedded Workbench. Створити новий проект: Project → Create New Project. У меню, що відкрилося, необхідно вибрати Tool chain: MSP430 (рис. 1.1). Натиснути «ОК».

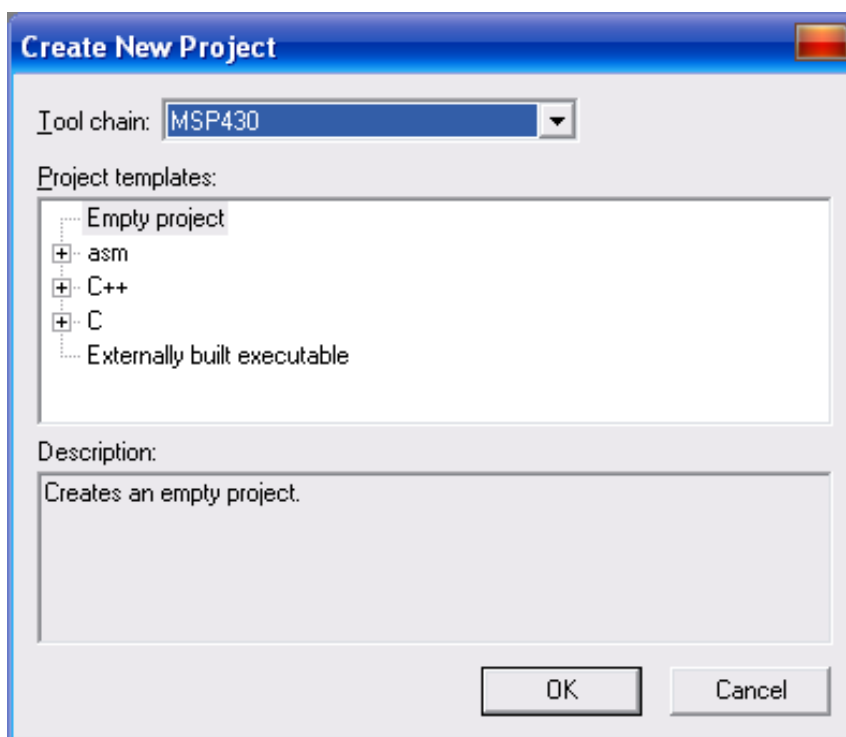


Рисунок 1.1 – Створення нового проекту

2. Ввести назву проекту, наприклад, «LED Blink» і вказати теку, в якій зберігатиметься проект, наприклад, «My Projects\LED Blink» (рис. 1.2). Далі натиснути «Сохранить».

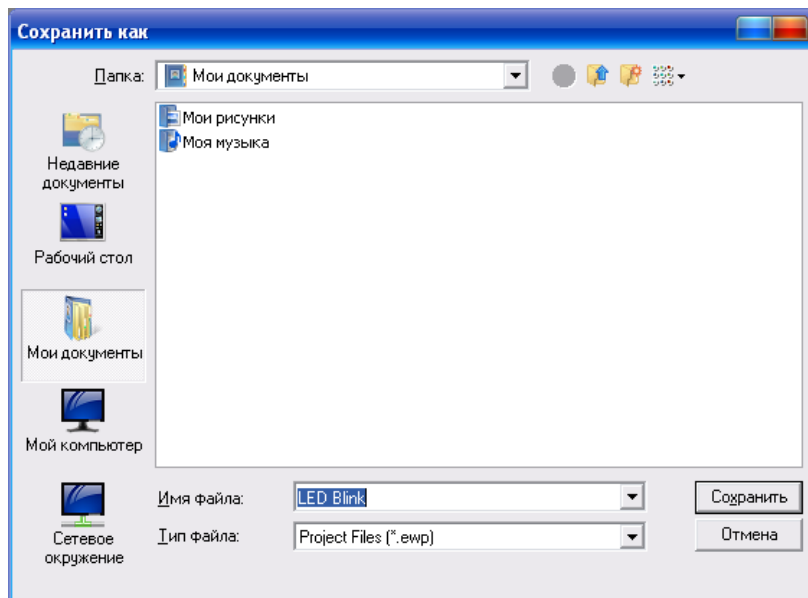


Рисунок 1.2 – Збереження проекту

3. У вікні середовища розробки, зліва, повинно з'явитися вікно Workspace, воно відображає файли проекту. Якщо вікна немає, необхідно вибрати View → Workspace. Серед файлів можна побачити файл LED Blink (рис. 1.3). Клацнути по ньому правою кнопкою мишки і вибрати Options.

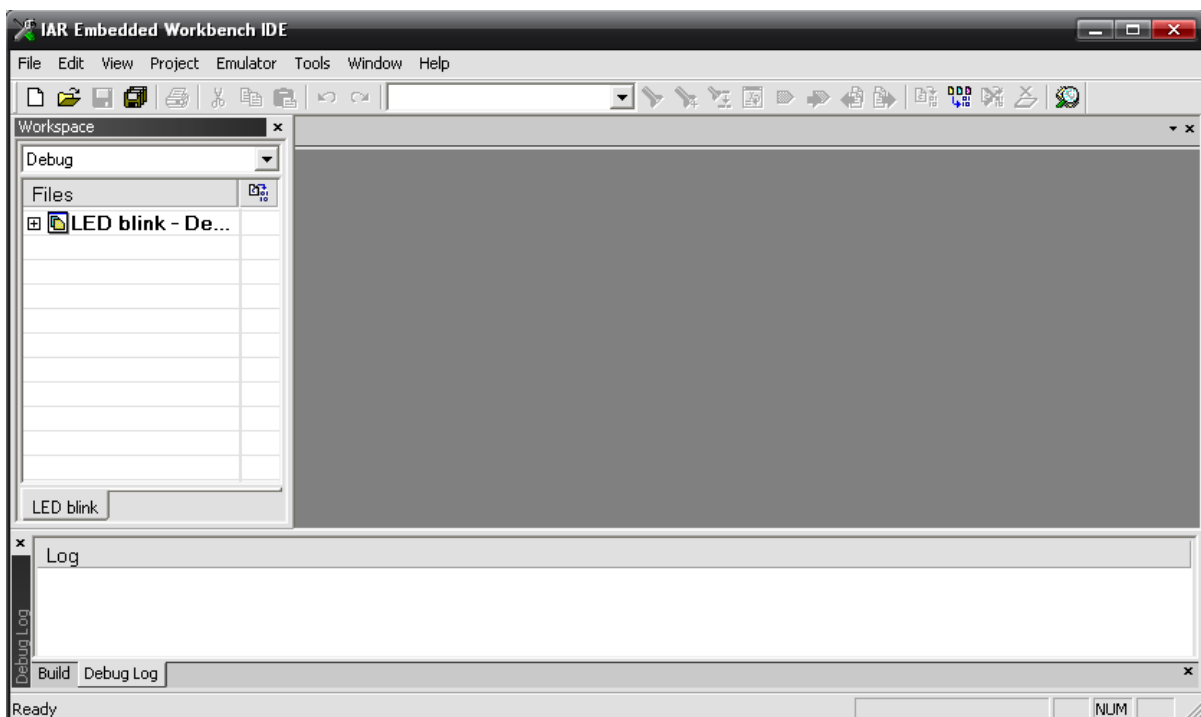


Рисунок 1.3 – Вікно Workspace

4. У категорії General Options в графі Device вибрати мікроконтролер, з яким необхідно працювати: MSP430F2013 (рис. 1.4).

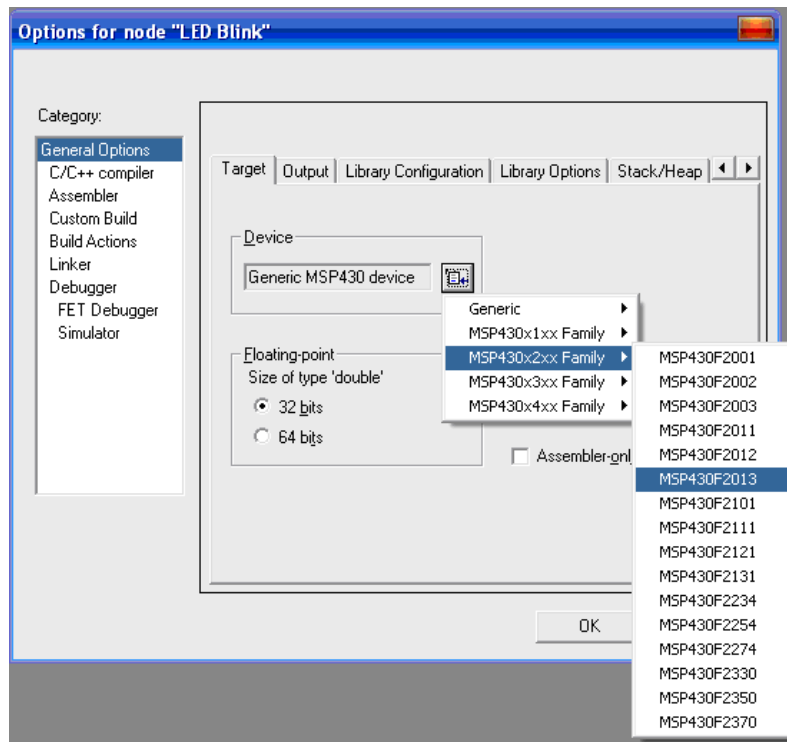


Рисунок 1.4 – Вибір мікроконтролера

5. У категорії Debugger, закладці Setup, графі Driver вибрати FET Debugger (рис. 1.5). Натиснути «ОК».

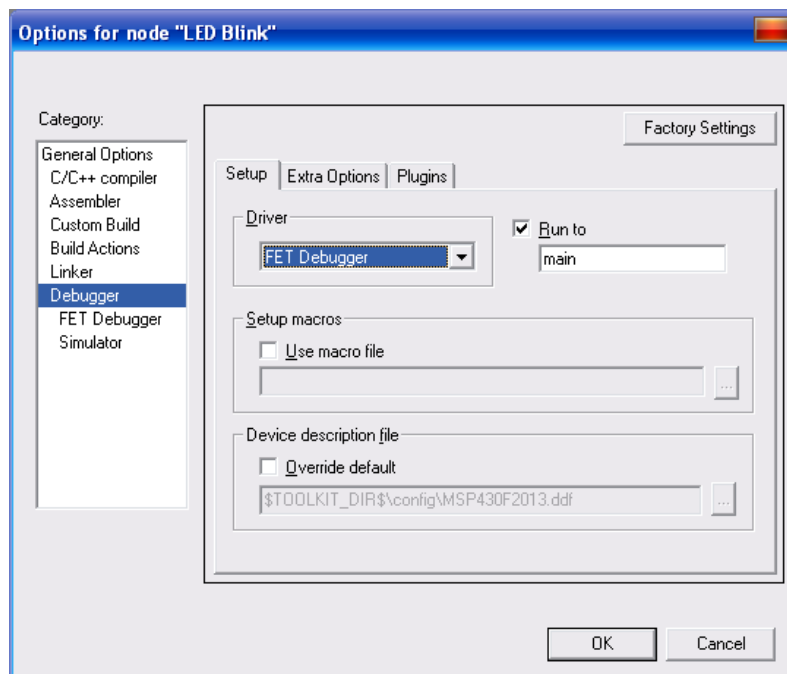


Рисунок 1.5 – Налаштування категорії Debugger

6. Тепер необхідно створити файл, в якому буде розміщена програма: File → New → File. Відразу необхідно зберегти його: File → Save As. Назвати його, наприклад «LED Blink.c».

7. Скопіювати у файл «LED Blink.c» код програми (рис. 1.6):

```
#include <msp430x20x3.h>
void main(void)
{
    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD; /*Зупинка сторожового
                                таймера */
    P1DIR |= 0x01; /* Налаштування порту P1.0 на
                    виведення */

    for (;;)
    {
        volatile unsigned int i;
        P1OUT ^= 0x01; /* Перемикання порту P1.0 з
                        використанням виключного АБО */
        i = 50000; // Затримка
        do
        {
            (i--);
        }
        while (i != 0);
    }
}
```

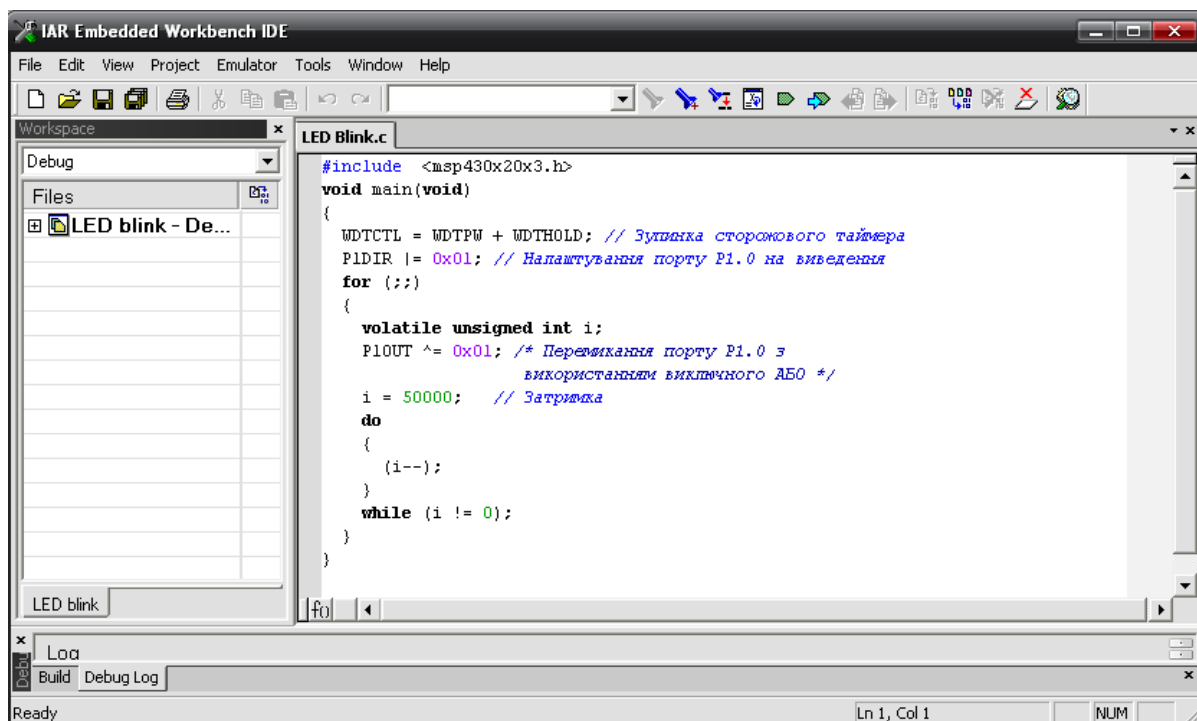


Рисунок 1.6 – Програма «LED Blink.c»

8. Зберегти файл «LED Blink.c» після змін. Підключити його до проекту: правою кнопкою мишки клацнути у вікні Workspace по назві проекту, вибрати Add → Add Files, потім файл «LED Blink.c» (рис. 1.7).

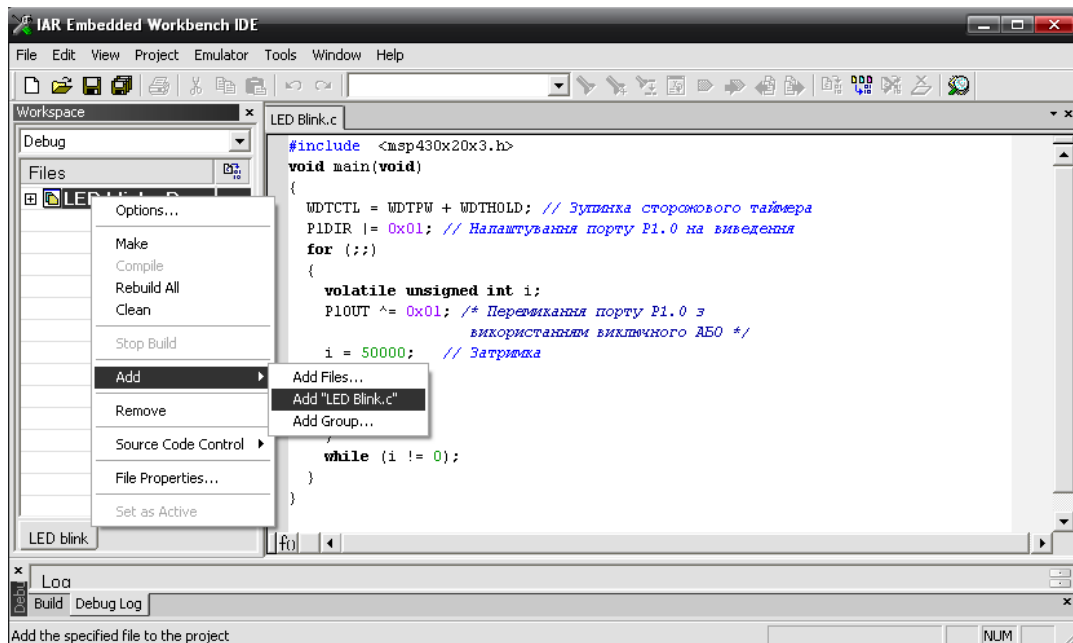


Рисунок 1.7 – Підключення файлу до проекту

9. Компіляція проекту. Вибрати пункт головного меню: Project → Rebuild All (рис. 1.8). Відкриється вікно з пропозицією зберегти робочу область: Save Workspace As. Зберегти робочу область в тій же теці My Projects\LED Blink. Натиснути «Save».

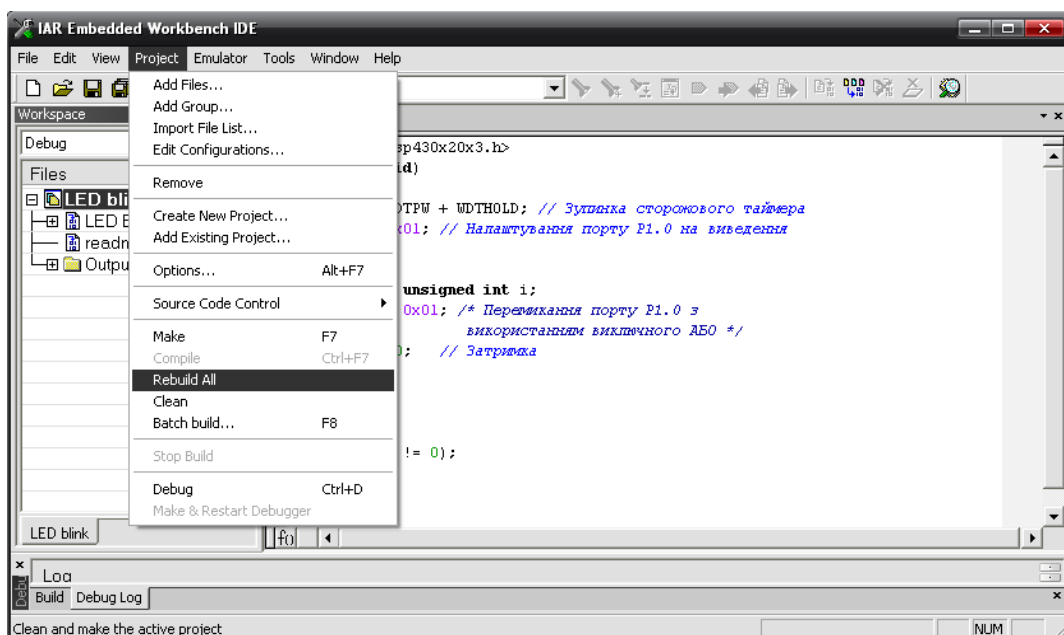


Рисунок 1.8 – Компіляція проекту

10. Налаштування проекту та запуск на виконання. Для налаштування пристрій eZ430-F2013 повинен бути підключений до USB порту. Натиснути Project → Debug (рис. 1.9). Натиснути F5 і спостерігати як блимає світлодіод. Для зупинення блимання світлодіода потрібно натиснути Debug → Break, для виходу з режиму налаштування: Debug → Stop Debugging.

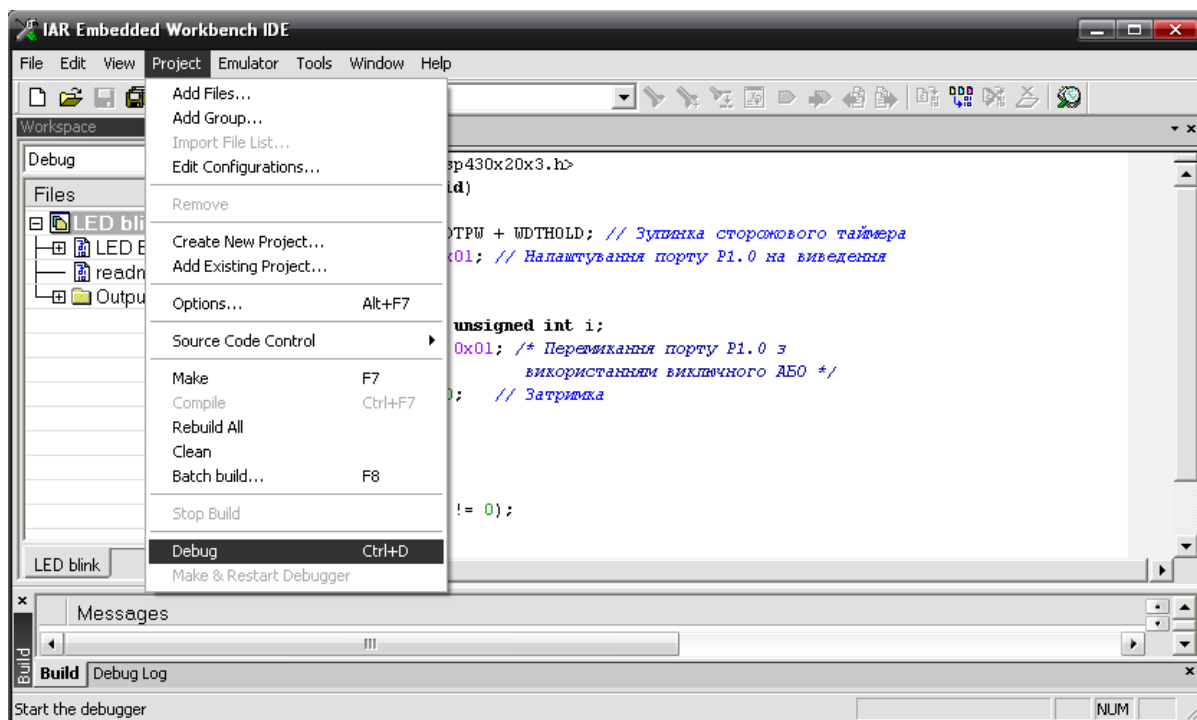


Рисунок 1.9 – Налаштування проекту

### 1.3 Виконання програми на C/C++ у інтегрованому середовищі розробки

На рис. 1.10 наведено послідовність виконання програми на C/C++ у інтегрованому середовищі розробки.

Основні елементи послідовності виконання програми на C/C++ у IDE:

- файли C/C++;
- компілятор C/C++;
- код асемблера;
- асемблер;
- об'єктні файли (*object files*);
- компонувальник;
- виконуваний об'єктний файл;
- MSP430.

Інші елементи, наведені на рис. 1.10, є опціональними.

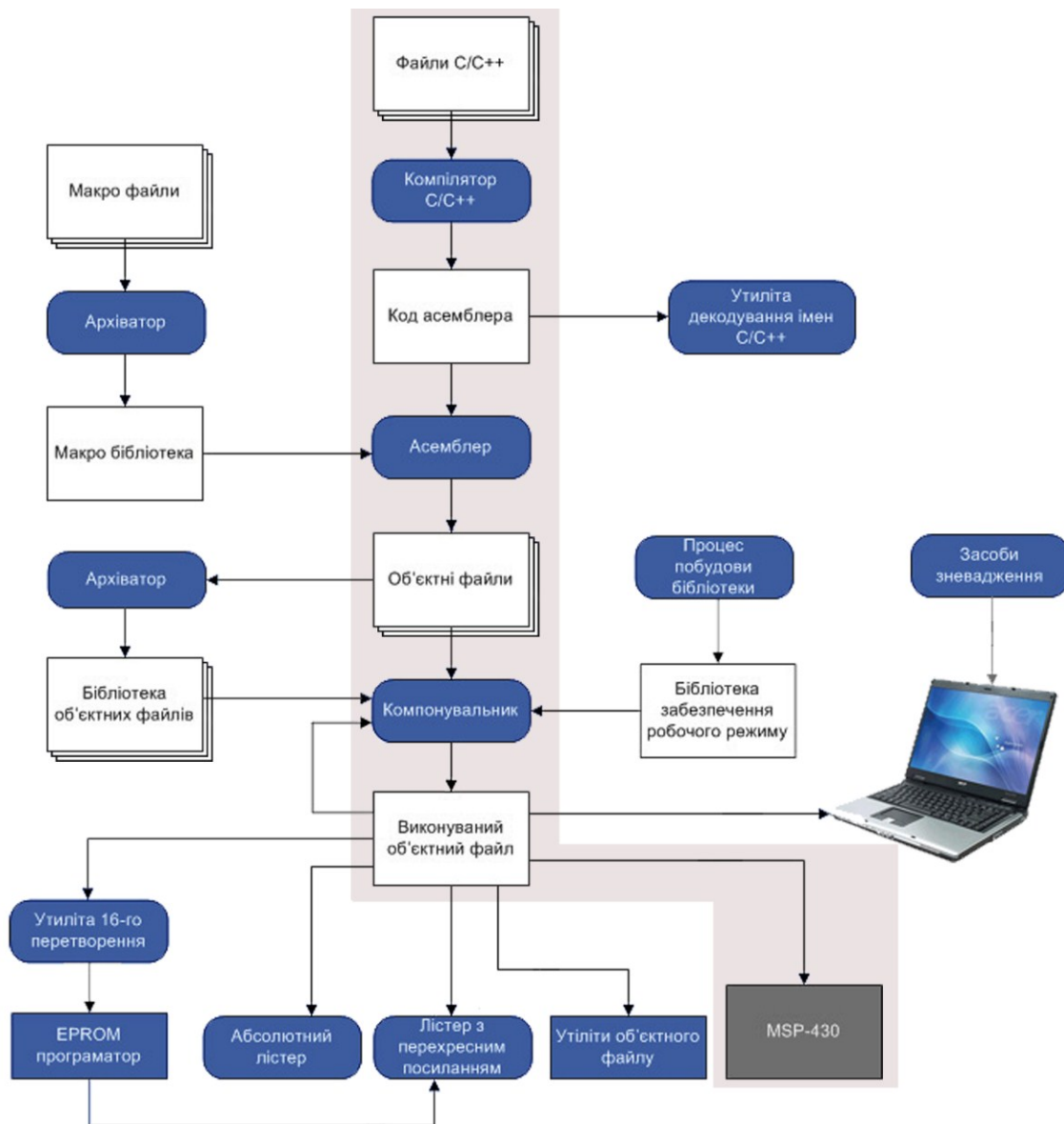


Рисунок 1.10 – Послідовність виконання програми на C/C++ у IDE

Компілятор перетворює код C/C++ на код асемблера MSP430.  
Тобто якщо записати в програмі код:

```
int a,b,c;
a = 3;
b = 5;
c = a+b;
```

Компілятор перетворить цей код таким чином:

```
mov.w    #0x3,R15
mov.w    #0x5, R14
add.w    R14,R15
```



Завдяки компілятору програміст може використовувати мову C/C++, що значно спрощує процес розробки програмного забезпечення. Саме у обсязі компільованого коду виробники IDE для MSP430 вносять обмеження для того, щоб надати безкоштовну тестову версію.

Результат роботи компілятора можна побачити у вікні Disassembly, коли запускаємо режим налагодження проекту (Project → Debug) в середовищі розробки IAR Embedded Workbench IDE.

Асемблер – це перекладач з мови асемблера на мову машинних кодів, тобто в об'єктний код. Таким чином, отриманий код асемблера:

```
mov.w    #0x3, R15
mov.w    #0x5, R14
add.w    R14, R15
```

на мові машинних кодів буде мати такий вигляд:

```
00F80E    403F 0003
00F812    403E 0005
00F816    5E0F
```

Компонувальник об'єднує всі об'єктні файли проекту в один виконуваний об'єктний модуль.

Архіватор (*archiver*) – дозволяє створювати бібліотеки функцій, які часто використовуються, а також модифікувати вже існуючі бібліотеки. На сайті Texas Instruments [www.ti.com](http://www.ti.com) можна безкоштовно завантажити бібліотеки оптимізованих функцій для роботи з деякими периферійними пристроями (*peripheral devices*).

### **Контрольні запитання**

1. Що входить в комплект IAR Embedded Workbench?
2. Які особливості компілятора мови C/C++?
3. Які особливості асемблера?
4. Які особливості компонувальника?
5. Які особливості налагоджувача?
6. Які особливості редактора вихідного тексту?
7. Як відбувається створення проекту в IDE IAR Embedded Workbench?
8. Яким чином здійснюється компіляція проекту?
9. Яким чином здійснюється налагодження проекту та запуск на виконання?
10. Які основні елементи послідовності виконання програми на C/C++ у IDE?
11. Яке призначення асемблера?
12. Яке призначення компонувальника?
13. Яке призначення архіватора?

## 2 ІНТЕГРОВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ РОЗРОБКИ CODE COMPOSER ESSENTIALS

### 2.1 Загальна характеристика IDE Code Composer Essentials

Code Composer Essentials – інтегроване середовище розробки і налагодження для мікроконтролерів сімейства MSP430.

Середовище SSE основане на відкритій платформі Eclipse, яка призначена для створення інструментарію розробки і надає розробнику вільний вибір засобів інтеграції, моделювання та тестування, вибір мови програмування, платформи та постачальника цих засобів.

Використання платформи Eclipse дає розробнику спеціалізовані засоби і набір додаткових програмних модулів. Цей інструментарій покликаний спростити інтеграцію програмних засобів від різних постачальників і зменшити час розробки та її вартість. Платформа Eclipse забезпечує широкий діапазон вибору сумісних продуктів, дозволяє розробнику використовувати різні операційні системи, налагоджувачі і компілятори, виходячи з власних уподобань.

У складі SSE є весь необхідний набір відповідних засобів розробки:

- компілятор C, асемблер і лінкер для ядра MSP430;
- налагоджувач на рівні вихідного коду;
- вбудований менеджер проектів;
- підтримка апаратних і програмних точок зупину;
- вбудований текстовий редактор.

Особливості текстового редактора:

- виділення кольором синтаксису мови;
- контроль коректності при написанні коду;
- автоматичне виділення кольором інформації про об'єкти (функції, змінні тощо);
- інформація, доступна під час налагодження:
  - змінні і обчислювані вирази;
  - комірки пам'яті;
  - внутрішні регістри ядра MSP430.

У версії SSE v2.0 введені поліпшення для зручності роботи з середовищем:

- поліпшена стабільність роботи налагоджувача;
- зручний менеджер проектів для початку роботи, що запускається при запуску середовища;
- підтримка мікроконтролерів з об'ємом флеш-пам'яті більше 64 кбайт (*byte*) (зокрема, MSP430F461x);
- розширені можливості управління точками зупину;
- точка зупину при переповненні стека;
- точки зупину для змінних;

- можливість завдяки використанню відкритого графічного інтерфейсу Eclipse підключати різні плагіни: наприклад, підтримку системи контролю версій SubVersion;

- вдосконалений компілятор C.

Особливості компілятора C:

- дозволяє формувати додаткову інформацію, в якій повідомляється розмір використовуваного стека, граф викликів функцій тощо;

- вбудована скриптова мова, яка дозволяє, наприклад, з'ясувати точний мінімальний розмір стека, необхідного для роботи програми;

- можливість підключення до CSE продуктів інших виробників – компіляторів C та компонувальників;

- підтримка роботи під операційною системою Linux.

Нове середовище розробки CSE v3.0 передбачає значні оновлення, спрямовані на збільшення продуктивності, імітації функцій і зручність використання при досить низькій вартості. CSE спрощує процес розробки за рахунок інтуїтивного інтерфейсу в поєднанні з високою щільністю коду та потужними можливостями налагодження.

Використовуючи експлуатаційну гнучкість і функціональну сумісність, яку надає платформа з відкритим кодом Eclipse, розробники можуть легко створювати зручні для застосування замовні IDE шляхом інтегрування плагінів.

Основні поліпшення включають оптимізацію і зручності, орієнтовані на підвищення якості розробки, що спрощують налагодження і верифікацію та прискорюють час виведення виробів на ринок, при цьому вартість системи утримується на низькому рівні.

Середовище розробки CSE v3.0 характеризується:

- зростанням зручності у використанні: добре налагоджені діалогові вікна скорочують число кроків, необхідних для часто виконуваних завдань при розробці. Додатково розробники мають спільний доступ до інших компіляторів, таких як MSPGCC GNU, за допомогою єдиного середовища;

- розвиненим вбудованим емулятором: повна підтримка можливостей мікроконтролерів MSP430 при мінімальному втручанні у виконання коду, апаратна підтримка реального часу, включаючи точки зупину і відстеження стека, що приводить до більш швидкої емуляції і більш ефективного налагодження у всіх режимах роботи;

- високопродуктивним налагоджувачем: здійснена заміна налагоджувача на TI CCStudio Debug Server, який на 200 відсотків збільшує продуктивність в таких завданнях, як завантаження додатків, послідовне виконання та оновлення реєстрів і змінних;

- оновленим синтаксисом коду C: дозволяє розробникам прямо імпортувати код без модифікації з великого набору прикладів, бібліотек і демонстрацій від TI і сторонніх фірм;

- підтримкою для всіх мікроконтролерів MSP430, яка дозволяє розробникам використовувати оптимальний вибір для своїх потреб, включаючи розширену пам'ять (до 1 Мбайт флеш-пам'яті), наприклад, в серії MSP430F261x.

CCE v3.0 є безкоштовною версією і підтримує до 16 кбайт програмного коду. CCE Pro v3.0 характеризується необмеженим розміром програмного коду при вартості від \$ 499.

## 2.2 Створення проекту в IDE Code Composer Essentials

Нижче наводиться опис покрокової процедури створення проекту з використанням середовища CCE.

1. Запустити середовище CCE. Створити новий проект: File → New → Managed Make C/ASM Project (рис. 2.1).

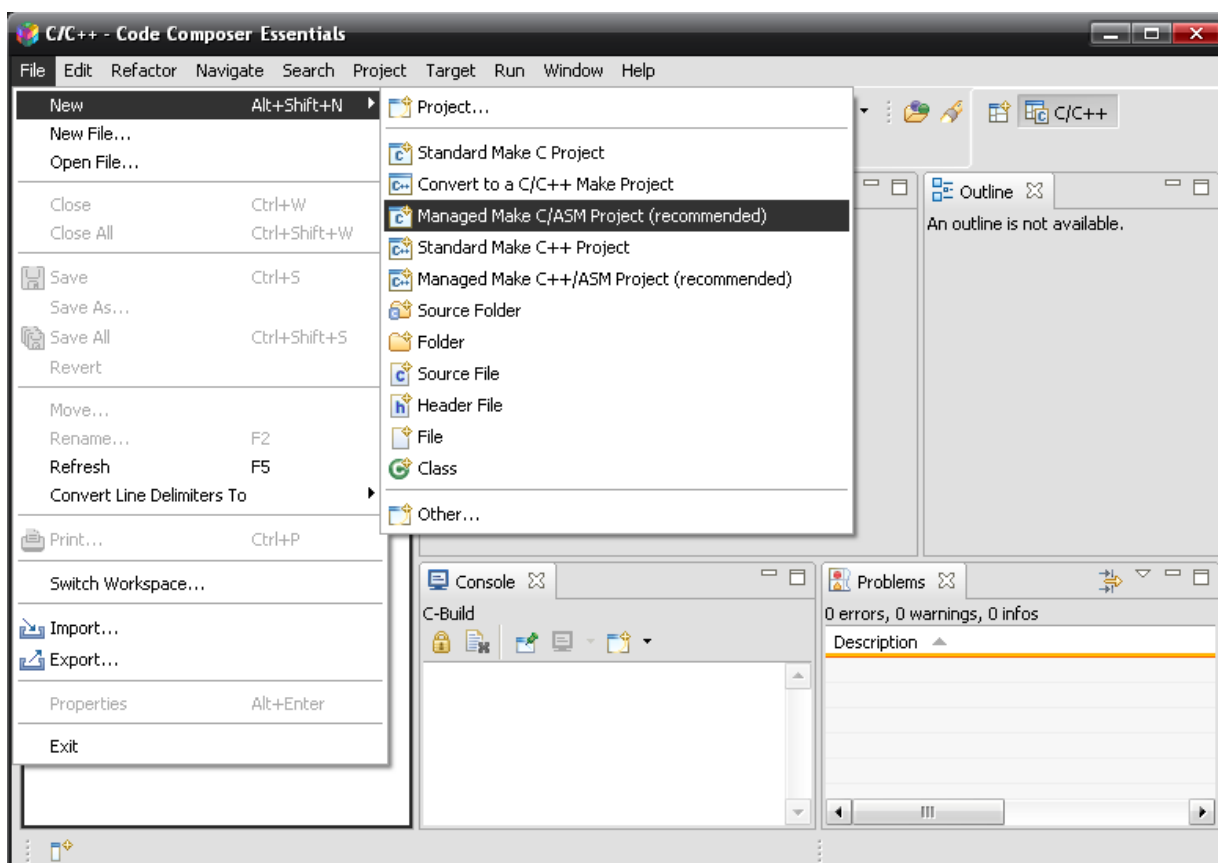


Рисунок 2.1 – Вибір пункту меню для створення проекту

2. У поле «Project name» ввести назву проекту (рис. 2.2). Натиснути «Next».

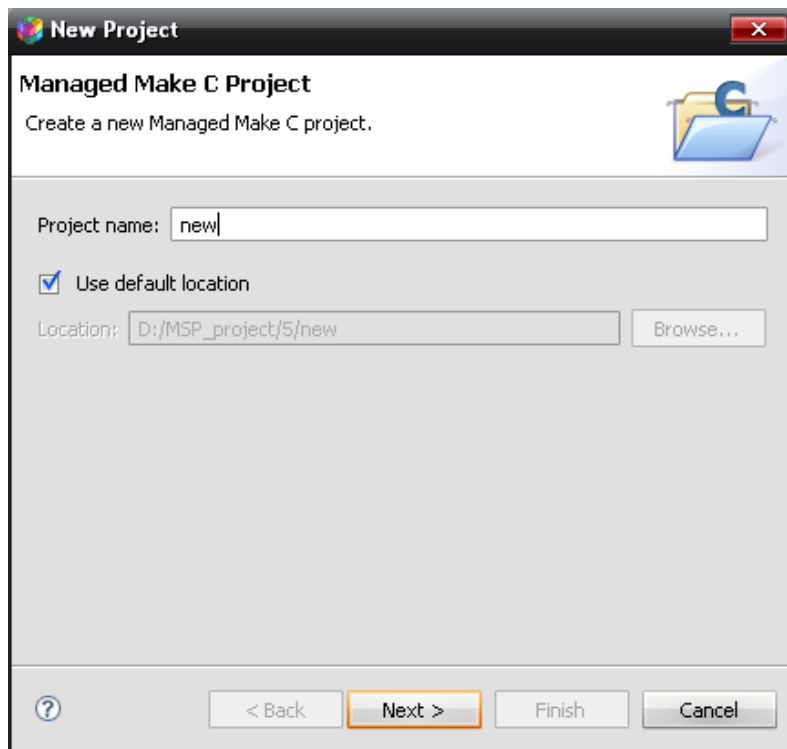


Рисунок 2.2 – Введення ім'я проекту

3. Перевірити, що у полі «Project Type» встановлене значення «MSP430 Executable», а також, що вибрані конфігурації Debug та Release (рис. 2.3).

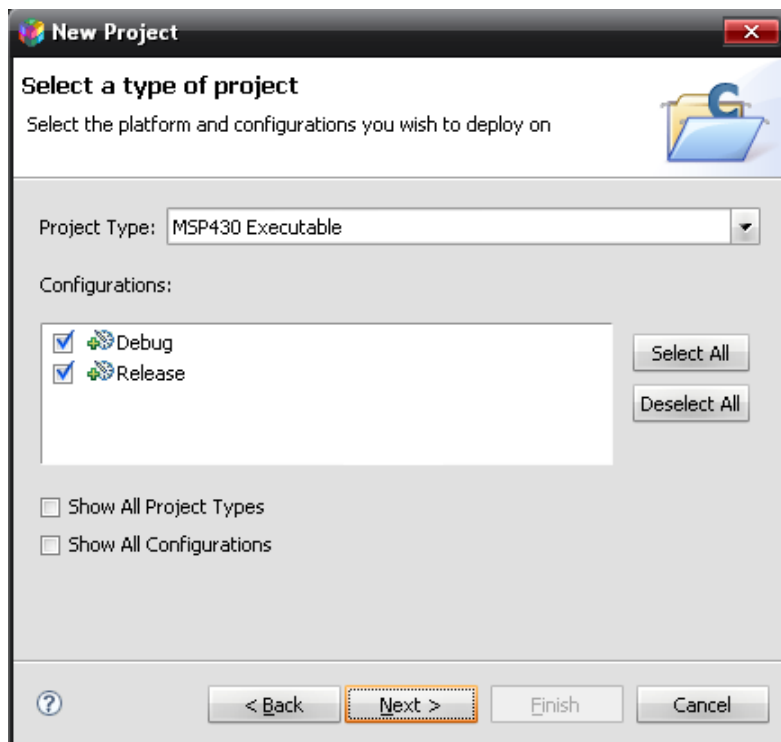


Рисунок 2.3 – Вибір типу проекту

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Семенов Б. Ю. Микроконтроллеры MSP430: первое знакомство / Семенов Б. Ю. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 128 с.
2. Семейство микроконтроллеров MSP430x2xx. Архитектура, программирование, разработка приложений / пер. с англ. Евтифеева А. В. – М. : Додэка-XXI. – 2010. – 544 с.
3. MSP430. [Электронный ресурс] : Режим доступа : <http://chinapads.ru/c/s/msp430>
4. MSP430. [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://wikipedia.org/wiki/msp430>
5. Семейство MSP430: опыт применения. [Электронный ресурс] : Режим доступа : [http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01\\_03/stat\\_64.htm](http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01_03/stat_64.htm)
6. Семейство микроконтроллеров MSP430 Texas Instruments. [Электронный ресурс] : Режим доступа: [http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/Texas\\_Instruments/micros/msp430/start.htm](http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/Texas_Instruments/micros/msp430/start.htm)
7. Семейство микроконтроллеров MSP430 Texas Instruments с Flash-памятью. [Электронный ресурс] : Режим доступа : <http://kazus.ru/articles/193.html>
8. Практика работы с MSP430. [Электронный ресурс] / С. Борщ. – Режим доступа : <http://www.chipinfo.ru/literature/chipnews/200101/44.html>
9. Гук И. Краткий обзор микроконтроллеров семейства MSP430 компании Texas Instruments / И. Гук // Компоненты и технологии. – № 6. – 2006.
10. MSP430. [Электронный ресурс] : Режим доступа : <http://emproj.com/MSP430StartPage>
11. Особенности программирования микроконтроллеров в среде программирования IAR Embedded Workbench. [Электронный ресурс] : Режим доступа : <http://www.support17.com/component/content/248.html?task=view>
12. Охотин А.П. Семейство MSP430: опыт применения [Электронный ресурс] : Рынок микроэлектроники. – Режим доступа : [http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01\\_03/stat\\_64.htm](http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01_03/stat_64.htm)
13. Архитектура MSP430 [Электронный ресурс] : Рынок микроэлектроники. – Режим доступа : <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/micros/msp430/arh/1.htm>
14. Texas Instruments. MSP430FG4618/F2013 Experimenter's Board: User's Guide [Электронный ресурс] : Режим доступа : <http://www.ti.com/litv/pdf/slau213a>

15. Средства разработки для микроконтроллеров MSP430 [Электронный ресурс] : Компэл. – Режим доступа : <http://mcu.compel.ru/article/11>
16. Texas Instruments. Руководство пользователя по компилятору CSE [Электронный ресурс] : Режим доступа : <http://focus.ti.com/lit/ug/slau132c/slau132c.pdf>
17. MSP430. Система команд [Электронный ресурс] : Режим доступа : <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/micros/msp430/asm/start.htm>
18. Микроконтроллеры MSP430: отличительные особенности семейства MSP430x2xx от MSP430x1xx [Электронный ресурс] : Режим доступа : [http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/06\\_06/stat\\_116.htm](http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/06_06/stat_116.htm)
19. MSP430x2xx Family User's Guide. [Электронный ресурс] : Austin : Texas Instruments Incorporated. – 2008. – 693с. – Режим доступа : <http://www.ti.com/lit/ug/slau144i/slau144i.pdf>
20. Микроконтроллеры семейства MSP430 [Электронный ресурс] : Режим доступа : <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/micros/msp430/index.htm>
21. MSP430 Assembly Language Tools v 4.1 User's Guide. [Электронный ресурс] : Austin : Texas Instruments Incorporated. – 2012. – 284с. – Режим доступа : <http://www.ti.com/general/docs/lit/getliterature.tsp?literatureNumber=slau131g&fileType=pdf>
22. MIXED SIGNAL MICROCONTROLLER. [Электронный ресурс] : Режим доступа : [www.ti.com/lit/ds/slas774a/slas774a.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/slas774a/slas774a.pdf)
23. Ultra-low Power Motion Detection using the MSP430F2013. [Электронный ресурс] : Austin: Texas Instruments Incorporated. – 2005. – 6 с. – Режим доступа : <https://www.olimex.com/Products/MSP430/Starter/MSP430-PIR/resources/slaa283.pdf>
24. Code composer Studio (CCStudio) Integrated Development Environment (IDE). [Электронный ресурс] : Режим доступа : <http://www.ti.com/tool/ccstudio>
25. Power Management Solutions for Ultra-Low-Power 16-Bit MSP430 TM MCUs. [Электронный ресурс] : Austin : Texas Instruments Incorporated. – 2012. – 3 с. – Режим доступа : [www.ti.com/lit/sg/slyt345d/slyt345d.pdf](http://www.ti.com/lit/sg/slyt345d/slyt345d.pdf)
26. Migrating from the MSP430F2xx and MSP430G2xx Families to the MSP430FR58xx and MSP430FR59xx Family. [Электронный ресурс] : Austin : Texas Instruments Incorporated. – 2012. – 14 с. – Режим доступа : [www.ti.com/it/an/slaa559/slaa559.pdf](http://www.ti.com/it/an/slaa559/slaa559.pdf)
27. MSP430F2013 Device Erratasheet. [Электронный ресурс] : Austin : Texas Instruments Incorporated. – 2012. – 11 с. – Режим доступа : [www.ti.com/lit/er/slaz156a/slaz156a.pdf](http://www.ti.com/lit/er/slaz156a/slaz156a.pdf)

## СЛОВНИК НАЙБІЛЬШ ВЖИВАНИХ ТЕРМІНІВ

Адреса – address  
Аналоговий вхід – analog input  
Апаратне забезпечення – hardware  
Архіватор – arhiver  
Асемблер – assembler  
Байт – byte  
Біт – bit  
Вбудована система – embedded system  
Введення/виведення – input/output  
Вектор переривання – interrupt vector  
Вивід – pin  
Вихід – output  
Вхід – input  
Генератор – generator  
Подільник частоти – frequency divider  
Додаток – application  
Емулятор – emulator  
Знімна плата – detachable target board  
Налагодження – debugging  
Налагоджувальний інтерфейс – debugging interface  
Налагоджувач – debugger  
Інструмент розробника – development tool  
Інтегроване середовище розробки – integrated development environment  
Інтервальний таймер – interval timer  
Інтерфейс – interface  
Інформаційна пам'ять – information memory  
Кварцовий генератор – crystal oscillator  
Код програми – source code  
Команда – command  
Комп'ютер – computer  
Компілятор – compiler  
Компіляція – compilation  
Компонувальник – linker  
Конденсатор – capacitor  
Лічильник – counter  
Мікроконтролер – microcontroller  
Модуль – module  
Модуль синхронізації – synchronization module  
Наднизьке споживання – ultra-low power  
Напруга живлення – supply voltage  
Немасковане переривання – non maskable interrupt



Об'єктні файли – object files  
Обробка даних – data processing  
Опорна напруга – reference voltage  
Переривання – interrupt  
Периферійний пристрій – peripheral device  
Порт – port  
Прапорець – flag  
Пристрій – device  
Програма – program  
Програмні засоби – software  
Проект – project  
Процедура – procedure  
Процесор – processor  
Реальний час – real time  
Регістр – register  
Режим захоплення – capture mode  
Режим порівняння – compare mode  
Режими роботи – operation modes  
Резистор змінного опору – pull-up/pull-down resistor  
Резонатор – resonator  
Світлодіод – LED  
Сегмент – segment  
Сигнал – signal  
Синхронізація – synchronization  
Система переривань – interrupt system  
Стек – stack  
Сторожовий таймер - watchdog timer  
Тактовий генератор – clock generator  
Тактовий сигнал – clock signal  
Точка зупину – breakpoint  
Транзистор – transistor  
Флеш-пам'ять – flash memory  
Фронт сигналу – signal front  
Цифро-аналогове перетворення – digital-to-analog conversion  
Цифровий вивід – digital pin  
Цифровий фільтр – digital filter  
Частота сигналу – signal frequency  
Швидкість – speed

*Навчальне видання*

**Кветний Роман Наумович  
Маслій Роман Васильович  
Гармаш Володимир Володимирович  
Бойко Олексій Романович**

**Мікропроцесорні системи  
Мікроконтролери сімейства MSP430x2xx  
Теорія та практика**

Навчальний посібник

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет підготовлено Р. Маслієм

Підписано до друку 08.09.2015 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 6,9.  
Наклад 300 (1-й запуск 1-100) пр. Зам. № 2015-090.

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-87-38.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.