

# CCS5.1 及 MSP430 应用实例研究文档

华中科技大学 MSP430&Analog 联合实验室

## CCS5.1 及 MSP430 应用实例研究

### MSP430ADC 模块及应用实例

成员名单:	于宁	提高0901班	U200914045
	杨玉婷	提高0901班	U200913810
	张悦	通信0904班	U200913864
指导老师:	汪小燕		

美国德州仪器半导体技术上海（有限）公司

华中科技大学 Analog&MSP430 联合实验室

2012年6月

## 目录

MSP430 综述 .....	3
特性与功能.....	3
系统关键特性.....	3
功能模块.....	3
MSP430ADC 模块情况介绍 .....	4
输入的 16 路模拟开关.....	4
ADC 内部电压参考源.....	4
ADC12 内核.....	4
ADC 时钟源部分.....	4
采集与保持,触发源部分.....	4
ADC 数据输出部分.....	5
ADC 控制寄存器.....	5
ADC12CTL0 转换控制寄存器.....	5
不同系列 MSP430 的 ADC 模块具体情况.....	5
MSPG2XXX 系列 其中用到 MSP430ADC 模块 .....	5
MSPF2XXX 系列 其中用到 MSP430ADC 模块.....	5
MSPF5XXX 系列 其中用到 MSP430ADC 模块.....	6
MSP430ADC 模块配置与相关寄存器描述.....	6
模块特性.....	6
量程.....	6
直流源.....	7
模拟输入.....	7
模拟多路开关.....	7
A/D 接地与降噪 .....	7
输入输出引脚.....	8
控制寄存器.....	8
MSP-430ADC 模块使用技巧及实例 .....	8
功能简介.....	8
开始使用.....	8
实验环境.....	8
实验硬件.....	9
调试及结果.....	9

### MSP430 综述

MSP430 系列单片机的 CPU 设计成适合各种应用的 16 位结构，采用冯-诺依曼体系，存储器与外围模块在同一地址空间寻址。

#### 特性与功能

- (针对 MSP430G2231IN12) 2KB Flash、128B RAM
- 外部 I/O 引脚具有中断能力
- 对同时发生的中断按优先级处理
- 嵌套中断结构
- 外围模块寄存器不占用 RAM 控件，均在模块内
- 片上 UART
- 具有定时器中断，可用于事件计数和时序发生等
- 看门狗功能
- 10 位 A/D 转换器具有 8 个输入端
- 具有 LCD 驱动电路
- 用 FLL 和 32.768kHz 晶振获得稳定时钟频率

#### 系统关键特性

- 超低功耗
- 可在电压降至 2.5V 时正常工作
- 系统内置模块：LCD 驱动、A/D 转换、I/O 端口、UART、看门狗、定时器
- 强大方便的正交指令组

#### 功能模块

- CPU: 16 位 ALU、16 位寄存器，支持正交精简指令集。其中寄存器包括 1 个程序计数器 PC、1 个堆栈指针 SP、一个状态寄存器 SR、一个常数发生器 CG 和 12 个通用寄存器
- 代码存储器：寻址空间为分段方式，利用代码段指针 CSP 和数据指针 DPP，以下方式用于代码访问指令(CSP+PC)和数据存储器访问指令([DPPi]+操作数地址)，即：  
MAB=CSP\*1000H+PC 访问代码存储器；MAB=DDPi\*4000H+Rs/d 访问堆栈和数据存储器
- 数据存储器：经两条总线与 CPU 相连：存储器地址总线 MAB 和存储器数据总线 MDB
- 运行控制：受控于存储在特殊寄存器 SFR 中的控制命令
- 振荡器、倍频器和时钟发生器：利用低功耗 32.768kHz 晶振产生低频信号源，利用锁相环电路 FLL 进行倍频，并通过数控振荡器 DCO 调整频率（这点和我们的硬件设计基本思路一致），时钟发生器的频率固定在晶振的倍频上，提供时钟信号 MCLK

# MSP430ADC 模块情况介绍

对于 MSP430ADC 模块, 其有 8 通道、12 通道、16 通道等主要类别, 在精度上有 10 位、12 位、16 位等精度, 对于这些不同类的 ADC 模块, 其大致结构功能我们以 MSP430ADC12 为例作具体说明如下:

MSP430 单片机的 ADC12 模块是一个 12 位精度的 A/D 转换模块, 它具有高速度、通用性等特点。

## 输入的 16 路模拟开关

16 路模拟开关分别是由 IC 外部的 8 路模拟信号输入和内部 4 路参考电源输入及 1 路内部温度传感器源及 AVCC-AVSS/2 电压源输入。外部 8 路从 A0-A7 输入, 主要是外部测量时的模拟变量信号。内部 4 路分别是 Vref+ ADC 内部参考电源的输出正端, Vref-/Vref- ADC 内部参考电源负端(内部/外部)。1 路 AVCC-AVSS/2 电压源和 1 路内部温度传感器源。片内温度传感器可以用于测量芯片上的温度, 可以在设计时做一些有用的控制; 在实际应用时用得较多。而其他电源参考源输入可以用作 ADC12 的校验之用, 在设计时可作自身校准。

## ADC 内部电压参考源

ADC 电压参考源是用于给 ADC12 内核作为一个基准信号之用的, 这是 ADC 必不可少的一部分。在 ADC12 模块中基准电压源可以通过软件来设置 6 种不同的组合。AVCC(Vr+), Vref+, Vref-, AVSS(Vr-), Vref-/Vref-。

## ADC12 内核

ADC12 的模块内核是共用的, 通过前端的模拟开关来分别来完成采集输入。ADC12 是一个精度为 12 位的 ADC 内核, 1 位非线性微分误差, 1 位非线性积分误差。内核在转换时会参用到两个参考基准电压, 一个是参考相对的最大输入最大值, 当模拟开关输出的模拟变量大于或等于最大值时 ADC 内核的输出数字量为满量程, 也就是 0xffff; 另一个则是最小值, 当模拟开关输出的模拟变量大小或等于最大值时 ADC 内核的输出数字量为最低量程, 也就是 0x00。而这两个参考电压是可以通过软件来编程设置的。

## ADC 时钟源部分

ADC12 的时钟源分有 ADC12OSC, ACLK, MCLK, SMCLK。通过编程可以选择其中之一时钟源, 同时还可以适当的分频。

## 采集与保持, 触发源部分

ADC12 模块中有着较好的采集与保持电路, 采用不同的设置有着灵活的应用。关于这方面的详情请参考手册上的寄存器说明, 此部分我们日后再作补上。

## CCS5.1 及 MSP430 应用实例研究文档

华中科技大学 MSP430&Analog 联合实验室

### ADC 数据输出部分

ADC 内核在每次完成转换时都会将相应通道上的输出结果存贮到相应用通道缓冲区单元中，共有 16 个通道缓冲单元。同时 16 个通道的缓冲单元有着相对应的控制寄存器，以实现更灵活的控制。

### ADC 控制寄存器

ADC12CTL0 转换控制寄存器

0ADC12CTL1 转换控制寄存器

1ADC12IE 中断使能寄存器

ADC12IFG 中断标志寄存器

ADC12IV 中断向量寄存器

ADC12MEM0-15 存储控制寄存器

0-15ADC12MCTL0-15 存储控制寄存器 0-15

## 不同系列 MSP430 的 ADC 模块具体情况

### MSPG2XXX 系列 其中用到 MSP430ADC 模块

其中用到 8ch ADC10 有：

MSP-430G2131	MSP-430G2352	MSP-430G2153
MSP-430G2231	MSP-430G2452	MSP-430G2253
MSP-430G2132	MSP-430G2133	MSP-430G2353
MSP-430G2232	MSP-430G2233	MSP-430G2453
MSP-430G2332	MSP-430G2333	MSP-430G2553
MSP-430G2152	MSP-430G2433	
MSP-430G2252	MSP-430G2533	

### MSPF2XXX 系列 其中用到 MSP430ADC 模块

其中用到 8ch ADC10 有

MSP-430F2011	MSP-430F2012	MSP-430F2122
MSP-430F2002	MSP-430F2112	MSP-430F2132

其中用到 12ch ADC10 有

MSP-430F2232	MSP-430F2272	MSP-430F2254
MSP-430F2252	MSP-430F2234	MSP-430F2274

其中用到 8ch ADC12 有

MSP-430F2410	MSP-430F2416	MSP-430F2417
--------------	--------------	--------------

## CCS5.1 及 MSP430 应用实例研究文档

华中科技大学 MSP430&Analog 联合实验室

MSP-430F2418                      MSP-430F2616                      MSP-430F2618

MSP-430F2419                      MSP-430F2617                      MSP-430F2619

其中用到 4ch SD16\_A 有

MSP-430F2003                      MSP-430F2013

### MSPF5XXX 系列 其中用到 MSP430ADC 模块

其中用到 8ch ADC10 有

MSP-430F5304

其中用到 12ch ADC10 有

MSP-430F5308                      MSP-430F5309                      MSP-430F5310

其中用到 16ch ADC12A 有

MSP-430F5324                      MSP-430F5333                      MSP-430F5418A

MSP-430F5325                      MSP-430F5334                      MSP-430F5419A

MSP-430F5326                      MSP-430F5335                      MSP-430F5435A

MSP-430F5327                      MSP-430F5336                      MSP-430F5436A

MSP-430F5328                      MSP-430F5337                      MSP-430F5437A

MSP-430F5329                      MSP-430F5338                      MSP-430F5438A

## MSP430ADC 模块配置与相关寄存器描述

### 模块特性

- 8 个输入通道
- 4 个模拟输入端
- 可作比例测量或绝对值测量
- 内置采样/保持电路
- 具有转换结束的中断标志 EOC
- ADAT 寄存器可将转换结果保存到下一次转换的开始
- 低功耗
- 独立完成转换，不需要 CPU 额外的处理开销
- 快速的转换时间
- 大的供电电压范围
- 可覆盖整个 A/D 转换范围

### 量程

可选择 4 个测量范围之一，以在一个指定范围内产生 12 位精度的结果，测量范围如下：

- $0.00 \cdot V_{ref} \sim 0.25 \cdot V_{ref}$  范围 A

## CCS5.1 及 MSP430 应用实例研究文档

华中科技大学 MSP430&Analog 联合实验室

- 0.25\*Vref~0.50\*Vref 范围 B
- 0.50\*Vref~0.75\*Vref 范围 C
- 0.75\*Vref~1.00\*Vref 范围 D

### 直流源

有四个模拟 I/O 端可以作为电流源输出。电流源输出  $I_{\text{source}}$  可以经外部电阻  $R_{\text{ext}}$  设定在引脚 A0、A1、A2、A3 上提供，其值为：

$$I_{\text{source}} = (0.25 \times V_{\text{ref}}) / R_{\text{ext}}$$

式中  $V_{\text{ref}}$  为 SVCC 端电压， $R_{\text{ext}}$  为 SVCC 与 REXT 间的外接电阻值。

在作比例测量时，输入通道上经阻抗元件产生的电压  $V_{\text{in}}$  为：

$$V_{\text{in}} = (0.25 \times \text{SVCC}) \times (R_{\text{sens}} / R_{\text{ext}})$$

式中  $R_{\text{sens}}$  外界阻抗元件的电阻。

当 A/D 转换器在传感器应用中与外接电阻元件相连时，需要精密的恒流源，这样输入信号能以同样方式参照作为恒流源的供电电压或参考电压，从而在进行比例测量时，只要参考电压稳定，将不受其他精度的影响。

### 模拟输入

模拟输入信号采样后加在内部电容上，并且在转换期间保持。电容上的电荷由信号源提供。充电时间规定为 12 个 ADCLK 周期的采样时间。因此，外部信号源的电阻和动态阻抗须受限制，以保证 RC 时间常数要足够短，从而保证 12 位精度要在分配好的采样时间内完成输入信号的建立。时间常数的典型值为  $0.8/f_{\text{ADCLK}}$ 。高信号源阻抗对转换器精度有不利影响，这不仅因为 RC 建立稳定的时间特性，也由于漏电流或 DC 输入平均电流引起的输入端电压降。对于 12 位转换器，因漏电流引起的以 LSB 表示的误差为：

$$\text{Error( LSB )} = 4 \times \text{漏电流} \times \text{信号源阻抗} / V_{\text{ref}}$$

### 模拟多路开关

模拟多路开关用 ACTL 中的控制位确定选择 8 个单端如数通道之一。它用 T 型开关是通道间的耦合减至最小，以避免对输入模拟信号的影响。工作时将未选中的通道与 A/D 绝缘，并将中间节点接地 AGND，而分布电容的接地消除了交互干扰。

### A/D 接地与降噪

为了避免地电流回路，对 AGND 采用星形连接方案。在这种方案中，地电流或参考电流不会流过公共的输入回路，从而消除了引起误差的电压。

数字地 DGND 与模拟地 AGND 可以采用星形方案连接在一起，但如果采用分离的供电方案，则用两个反向连接的二极管可以限制低于 700mV 的电压差。

仔细安排旁路电容，建立回到各自的地的回路，对稳定供电电流和降低噪声是有帮助的。

## CCS5.1 及 MSP430 应用实例研究文档

华中科技大学 MSP430&Analog 联合实验室

### 输入输出引脚

- 输入引脚：从通道 A0~A7 输入的信号，可以作为 A/D 转换器处理的模拟信号，也可以作为读入到处理单元的数字信号；REXT 和 SVCC 见的外界电阻界定了被激活的电流源工作室的总电流。SVCC 端可以作为输入或输出。当内部 SVCC 开关关断时，SVCC 作为输入，电压 Vref 由外部提供，否则 SVCC 作为输出。
- 输出引脚：当选择电流源功能时，模拟端 A0、A1、A2、A3 之一可以输出电流。当 SVCC 开关开通时，SVCC 端有比 AVCC 端略低一点的电压。
- 电源引脚：有 4 额供电引脚，分成数字和模拟电流通道，即 AVCC、DVCC、AGND、DGND。

### 控制寄存器

- 输入寄存器 AIN：A0~A7 上的信号可以作为模拟信号或数字信号，数字值可以通过访问输入寄存器读出，作为数字信号读入由输入允许寄存器选择。输入寄存器 AIN 作为制度寄存器连接于 16 位的 MDB，寄存器低字节有效，高字节读出总是 00h。
- 输入允许寄存器 AEN：作为读写寄存器连接于 16 位的 MDB，低字节有效，按位控制，初始状态各位为“0”。
- 数据寄存器 ADAT：保持 A/D 转换结果，转换数据在转换结束时进入寄存器，并保持到有对 SOC 位置位启动的下一次转换。
- 控制寄存器 ACTL：位 0：启动转换；位 1：Vref 来源；位 2~5：AD 输入选择；位 6~8：AD 电流源输出控制；位 9~11：测量范围选择；位 11：测量范围选择模式；位 12：省电模式；位 13~14：ADCLK 选择；位 15：保留。

## MSP-430ADC 模块使用技巧及实例

### 功能简介

本程序的功能是采样 P1.1 处的电压。如果 P1.1 处的电压大于 0.2V，则点亮 P1.0 处的 LED 灯；如果 P1.1 处的电压小于 0.2V，则不会点亮 P1.0 处的 LED 灯。

### 开始使用

首次使用 MSP-EXP430G2 LaunchPad 试验板时，演示应用将在该板从 USB 主机获得供电时立即自动启动。要启动演示，请使用附带的 Mini USB 线缆将 MSP-EXP430G2 LaunchPad 连接至空闲的 USB 端口。演示应用启动后，LED 将交替变亮以指明器件启动。

板上仿真线路将产生供电电压，而且所有必需的信号都启动。

### 实验环境

Windows 7, Code Composer Studio v5

## CCS5.1 及 MSP430 应用实例研究文档

华中科技大学 MSP430&Analog 联合实验室

### 实验硬件

MSP-EXP430G2 LaunchPad, MSP430G2553 芯片

### 调试及结果

- 进行实验我们首先需要在电脑上安装 Code Composer Studio v5。如果没有，可以在 TI 官网上下载的到：[http://processors.wiki.ti.com/index.php/Download\\_CCS](http://processors.wiki.ti.com/index.php/Download_CCS)
- 相应 IDE 安装好后，运行 Code Composer Studio v5

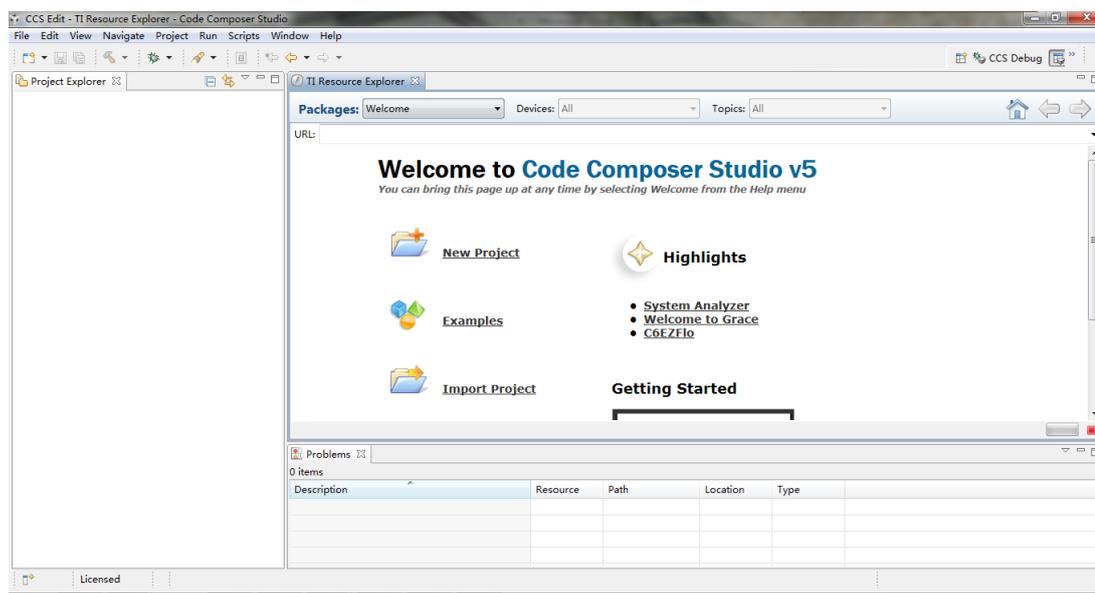


图 1 Code Composer Studio V5 初始界面

- 运行 File > New > CCS Project 开始新建工程。填入工程名如：MSP430ADC。然后在 Device 下选择 MSP430 Family, MSP430Gxxx Family, MSP430G2553 芯片。最后在工程中选空工程，并点击 Finish

## CCS5.1 及 MSP430 应用实例研究文档

华中科技大学 MSP430&Analog 联合实验室

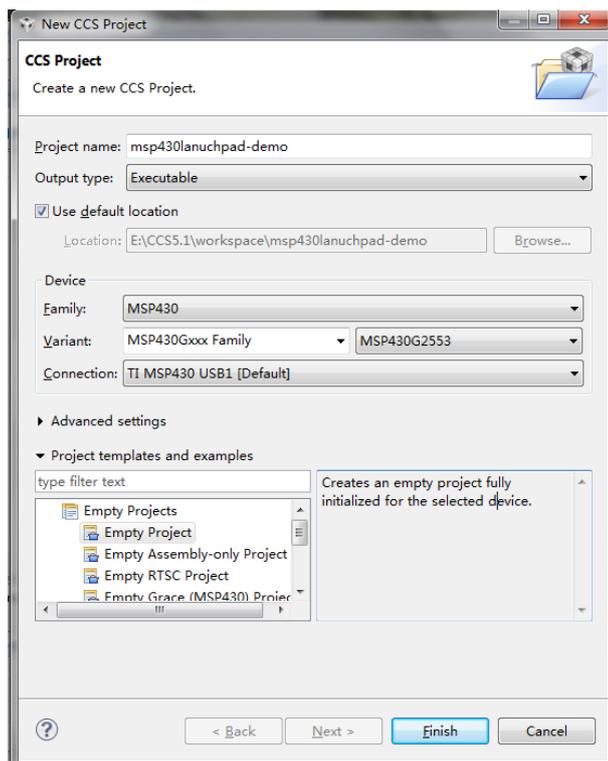


图 2 新建指定工程

- 建立工程后，修改源文件名后缀为 `cpp`，以使用部分 C++ 特性。按如下方式进行：在左侧 Project Explorer 栏，右键点选 `main.c`，选择 `Rename` 并在弹出的对话框中将文件名修改为 `main.cpp`

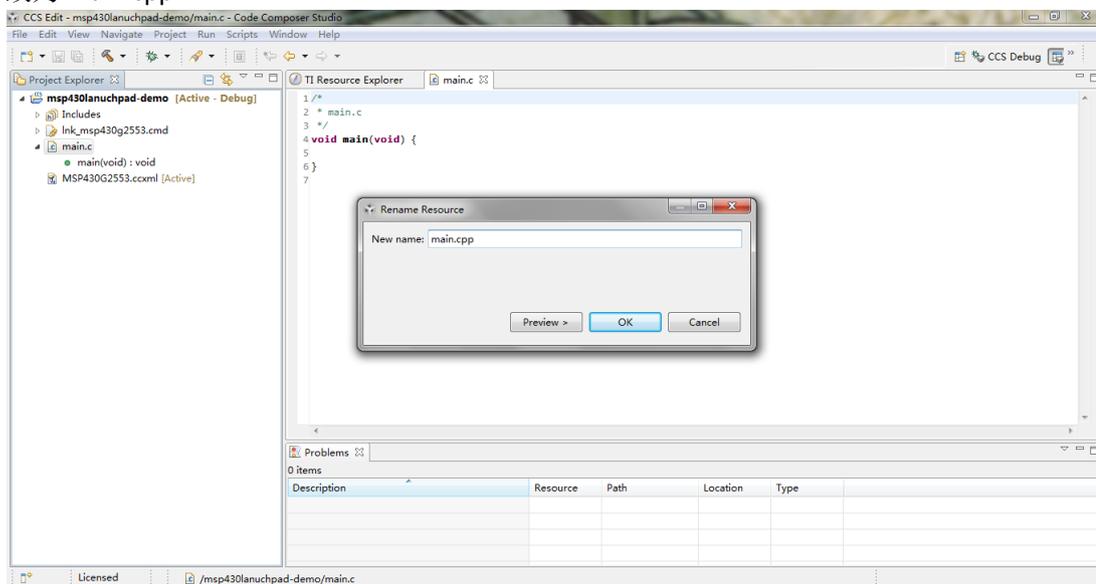


图 3 修改文件后缀为 `cpp`

- 在 `main.cpp` 文件中编辑如下代码，并保存

```
#include "msp430g2553.h"
```

```
void main(void)
```

## CCS5.1 及 MSP430 应用实例研究文档

华中科技大学 MSP430&Analog 联合实验室

```
{
    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;           // 停止 WDT
    ADC10CTL0 = SREF_1 + ADC10SHT_2 + REFON + ADC10ON + ADC10IE;
    __enable_interrupt();                // 开中断.
    TACCR0 = 30;                         // 延迟使得Ref能够被设置
    TACCTL0 |= CCIE;                     // 比较模式中中断.
    TACTL = TASSEL_2 | MC_1;             // TACLK = SMCLK, 上模式.
    LPM0;                                 // 等待延迟.
    TACCTL0 &= ~CCIE;                    // 关掉定时器中断
    __disable_interrupt();
    ADC10CTL1 = INCH_1;                  // 输入A1
    ADC10AE0 |= 0x02;                    // 选择PA.1 ADC选项
    P1DIR |= 0x01;                       // 把P1.0设置为输出

    for (;;)
    {
        ADC10CTL0 |= ENC + ADC10SC;      // 采样和转换开始
        __bis_SR_register(CPUOFF + GIE); // LPM0, ADC10_ISR会强制退出
        if (ADC10MEM < 0x88)             // ADC10MEM = A1 > 0.2V?
            P1OUT &= ~0x01;              // 灭掉P1.0的LED灯
        else
            P1OUT |= 0x01;                // 点亮P1.0的LED灯
    }
}

// ADC10中断服务
#pragma vector=ADC10_VECTOR
__interrupt void ADC10_ISR (void)
{
    __bic_SR_register_on_exit(CPUOFF);    // 清除CPUOFF比特
}

#pragma vector=TIMER0_A0_VECTOR
__interrupt void ta0_isr(void)
{
    TACTL = 0;
    LPM0_EXIT;                            // 退出LPM0
}
```

- 点击按钮  执行编译 (Build)

# CCS5.1 及 MSP430 应用实例研究文档

华中科技大学 MSP430&Analog 联合实验室

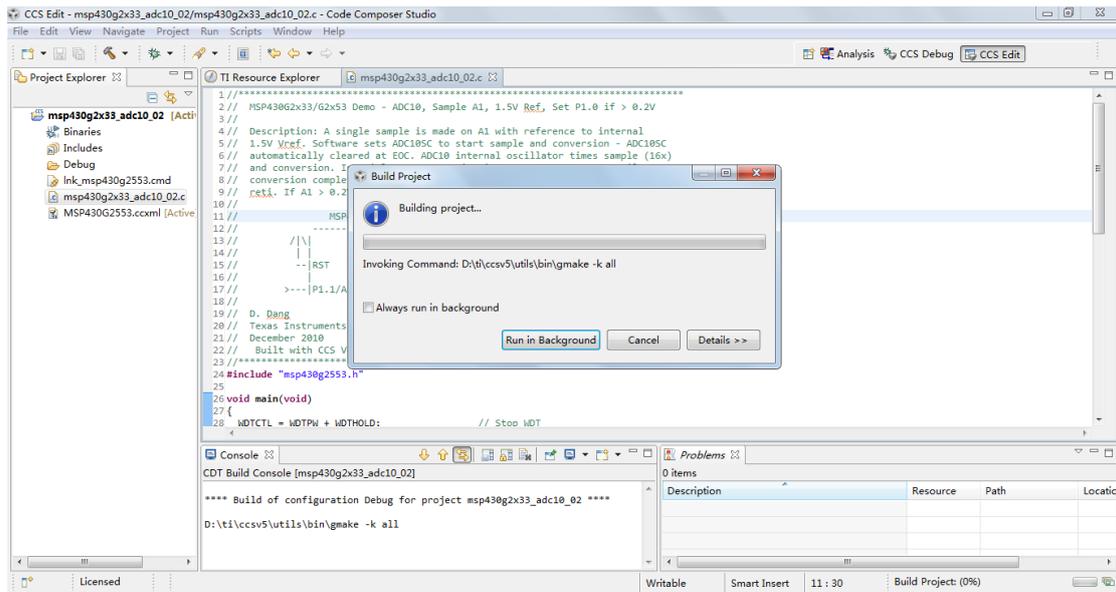
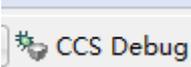


图4 编译、调试、下载窗口

- 编译通过，点击右上角按钮  执行调试 (Debug)

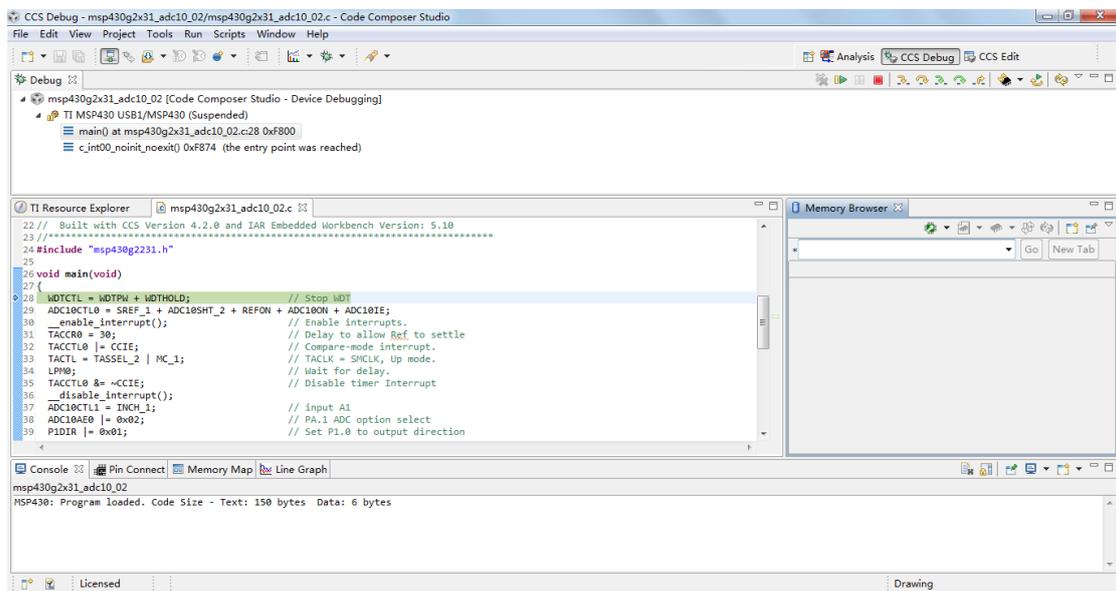


图5 调试窗口

- 调试过程中，通过设置断点，可以观察 Memory Browser 里特定内存位置读取的模拟信号的值

## CCS5.1 及 MSP430 应用实例研究文档

华中科技大学 MSP430&Analog 联合实验室

```
0x1b4 <Memory Rendering 1> 
Hex 16 Bit - TI Style Hex ▼
0x01B4 008E 0000 0000 0000 0200 0000 0000 0000 0000
0x0200 .bss, _bss, lock
0x0200 C094
0x0202 unlock
0x0202 C094
0x0204 cleanup_ptr
0x0204 0482
0x0206 dtors_ptr
0x0206 0680
0x0208 end, _end
```

图6 查看读取的模拟信号的值

- 点击  将程序上传到目标板 MSP-EXP430G2 LaunchPad, 再点击  取消断点调试

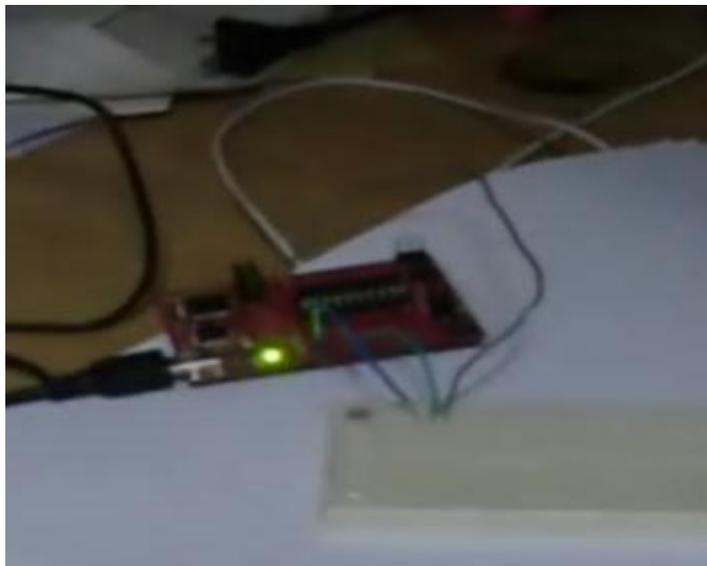


图7 实验结果