

第4章 电阻测量模块

精确电阻测量并非易事，电阻测量模块提供了两种高精度测电阻的应用范例：电桥法测电阻和恒流源法测电阻。电桥法是将待测电阻代替原来已经平衡的电桥的一个桥臂，采用基准源为电桥供电，通过测量因电桥桥臂失衡产生的电压来获得待测电阻的值；恒流源法是设计一个在一定负载范围内能提供精确恒定电流的恒流源，待测电阻作为恒流源负载，测量待测电阻两端的电压即可获得电阻阻值。为了提供性能比较，模块同时搭配两种不同的放大采集电路：一路采用仪用运算放大器 **INA333** 提供高共模抑制比的信号放大功能，再由 TIVA Cortex M4 自带的 12 位 ADC 进行数据采集；另一路直接采用 $\Delta\Sigma$ 型 ADC **ADS1100** 进行采集，并通过 I²C 将数据传给 TIVA Cortex M4。通过在模块上的跳线配置可以实现两种不同的前端测试电路和两种放大采集电路的交叉搭配，测试并比较不同配置方式的性能指标，可获得对不同测量方式和不同电路特性的认识。

电阻测量模块介绍

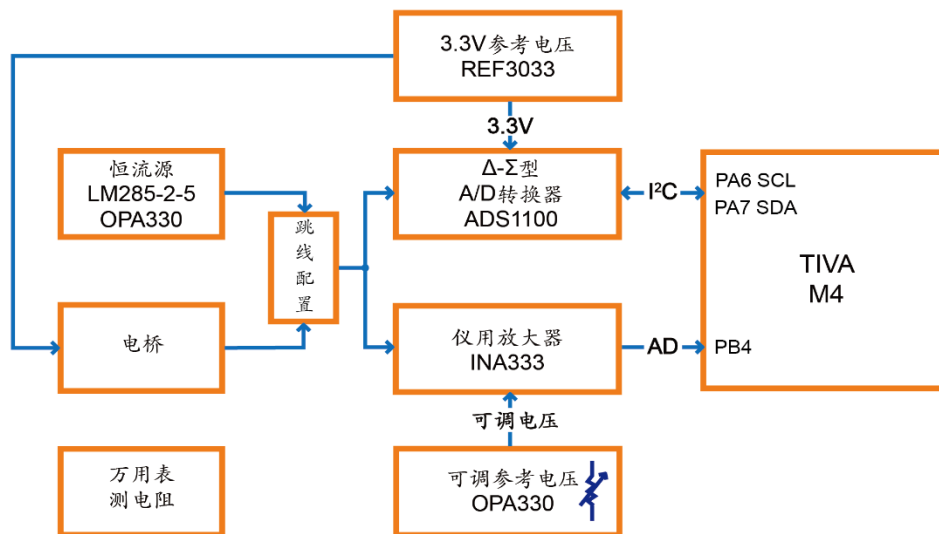
电阻测量模块提供了两种测电阻的方式和两种放大采集电路，通过跳线配置，可以组合成四套不同的测量电路。

两种测电阻的方式为：电桥法测电阻和恒流源法测电阻。电桥法是将待测电阻代替原来已经平衡的电桥的一个桥臂，采用基准源REF3033为电桥供电，通过测量电桥桥臂失衡产生的电压来计算获得待测电阻的值；恒流源法采用恒压芯片LM285-2-5和运算放大器OPA330组成一个在一定负载能力的恒流源，待测电阻作为恒流源负载，测量待测电阻两端的电压即可获得电阻阻值。

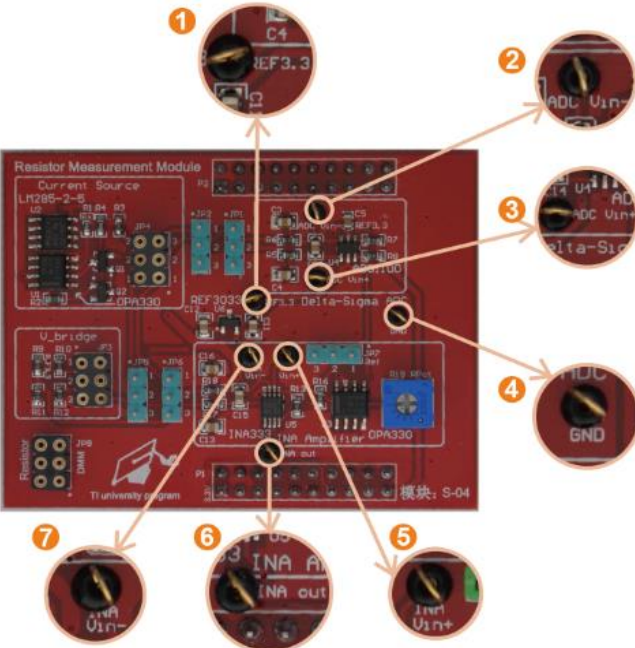
待测信号微弱并包含比较大比重的共模成份，需要放大采集电路来抑制共模并放大。电阻测量模块同时搭配两种不同的放大采集电路：一路采用仅用运算放大器INA333提供高共模抑制比的信号放大功能，再由TIVA Cortex M4自带的12位ADC进行数据采集；另一路直接采用 Δ - Σ 型ADC ADS1100进行采集，并通过I²C与TIVA Cortex M4连接，实现控制和采集数据的传送。

通过在模块上的跳线配置可以实现两种不同的前端测试电路和两种放大采集电路的交叉搭配，测试并比较不同配置方式的性能指标，获得对不同测量方式和各种模拟知识的理解。本模块涉及的知识点主要包括：共模信号和差模信号；仅用运算放大器的原理和特性； Δ - Σ 型ADC的原理和应用；采用运算放大器和恒压源形成的恒流源电路；MCU的ADC和I²C的应用。

支持的实验项目：恒流源 + Δ - Σ 型ADC测电阻；电桥 + Δ - Σ 型ADC测电阻；恒流源 + 仅用运算放大器测电阻；电桥 + 仅用运算放大器测电阻

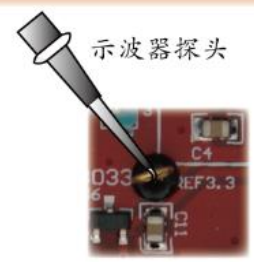


模块上测试环的布局说明

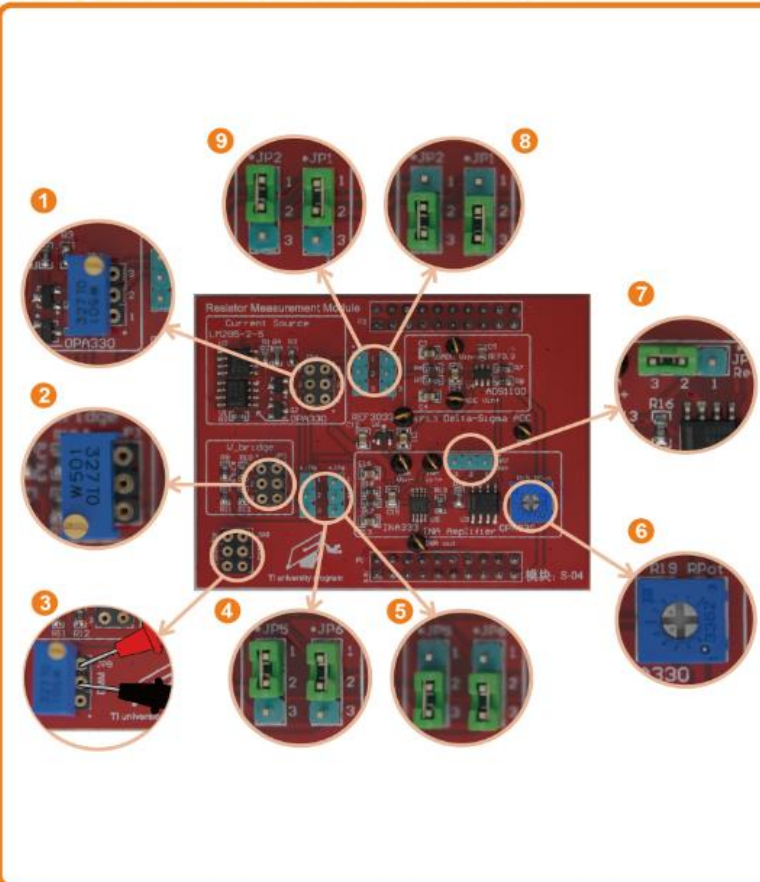


- 1 REF3033基准源输出, 3.3V, 用于测试基准源的输出性能
- 2 Δ - Σ 型ADC ADS1100的信号输入负端
- 3 Δ - Σ 型ADC ADS1100的信号输入正端, 与2一起组成差分信号输入, 用于测试输入到ADC的信号
- 4 信号地
- 5 仪用运算放大器INA333的信号输入正端, 与7一起组成差分信号输入对
- 6 仪用运算放大器INA333的输出端。进入AD采样前的信号, 改变被测电阻或调节INA333的参考电平大小, 都可以看到输出信号的变化
- 7 仪用运算放大器INA333的信号输入负端

示波器探头



模块上跳线位与测试位的布局说明



The diagram shows a central circuit board labeled "Resistor Measurement Module" with various components and test points. Nine numbered callouts point to specific features:

- 1**: Points to a test point labeled "OPA330".
- 2**: Points to a test point labeled "32701".
- 3**: Points to a test point labeled "TI Universal".
- 4**: Points to a jumper labeled "JP5".
- 5**: Points to a jumper labeled "JP6".
- 6**: Points to a potentiometer labeled "R19".
- 7**: Points to a jumper labeled "JP7".
- 8**: Points to a jumper labeled "JP2".
- 9**: Points to a jumper labeled "JP1".

1 圆针插座JP4, 用于插装待测电阻, 可以选用固定阻值的电阻, 也可以是如图所示的多圈可调电阻。请注意模块上的丝印标记引脚号 (1, 2, 3), 2, 3 两个引脚间的电阻阻值为待测值

2 圆针插座JP3, 功能与**1**相同, 也是2, 3引脚间为待测值。请注意这个圆针插座的1, 2, 3标记顺序与**1**是相反的!

3 圆针插座JP8。电阻测量实验时, 通常需要先高精度万用表来测一下待测电阻, 再用模块上的测量电路测量待测电阻, 比对测量结果来衡量测量电路的性能。用万用表直接测电阻时, 两个表笔很难同时对上电阻的两个管脚, JP8的设计只为方便用万用表测量电阻, 测量时只需将待测电阻放到插座上测量边上另一排圆针触点即可

4 跳线位JP5, JP6, 同时短接它们的1, 2引脚, 组成恒流源+仅用运算放大器的测量电路

5 跳线位JP5, JP6, 同时短接它们的2, 3引脚, 组成电桥+仅用运算放大器的测量电路

6 单圈式电位器R19, 用于调节INA333的参考电平

7 跳线位JP7, 用于选择INA333的参考电平是否受OPA330的输出电压控制, 短接2, 3号引脚, INA333参考电平选为零, 不受参考电平调节电路影响

8 跳线位JP1, JP2, 同时短接它们的2, 3引脚, 组成电桥+ $\Delta-\Sigma$ ADC式的测量电路

9 跳线位JP1, JP2, 同时短接它们的1, 2引脚, 组成恒流源+ $\Delta-\Sigma$ ADC式的测量电路

实验一：恒流源+仪用运算放大器测电阻与电桥+仪用运算放大器测电阻的比较

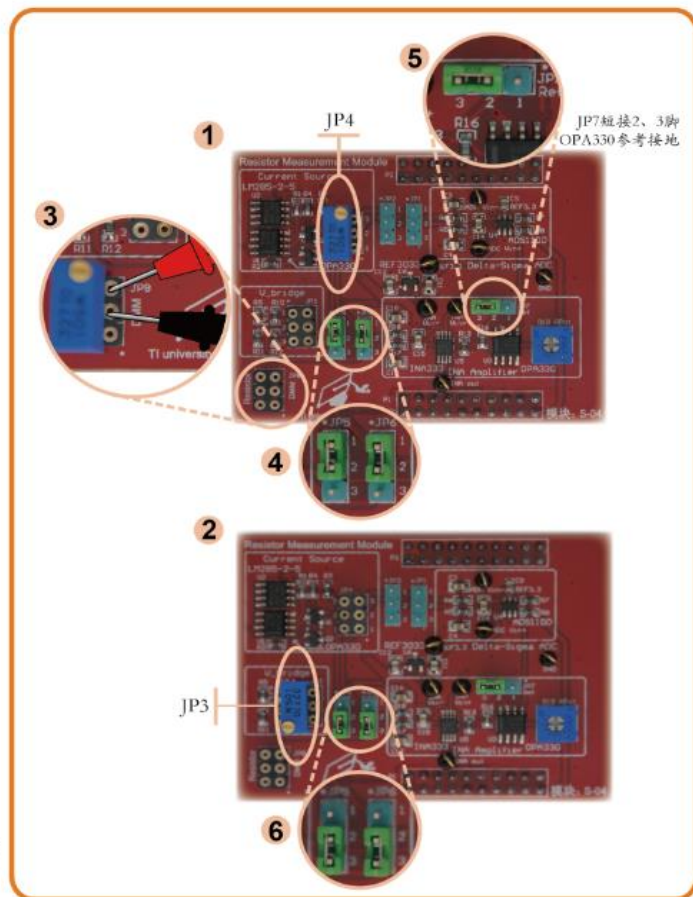
实验目的：掌握用电压基准源和运算放大器组成恒流源的方法；掌握并理解电桥法测电阻的原理与应用；理解并掌握仪用运算放大器的REF端的应用；理解仪用运算放大器的共模输入与输出范围的关系。

实验步骤：

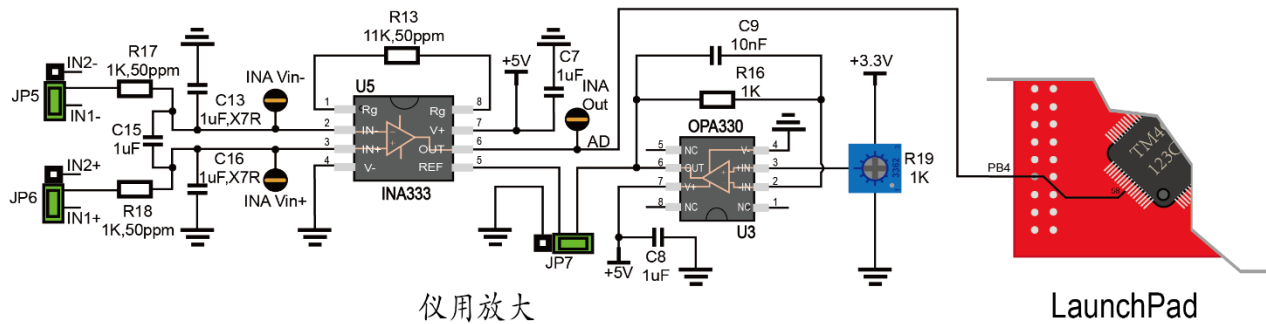
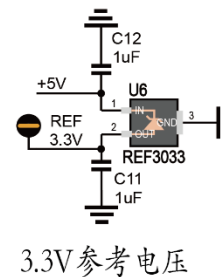
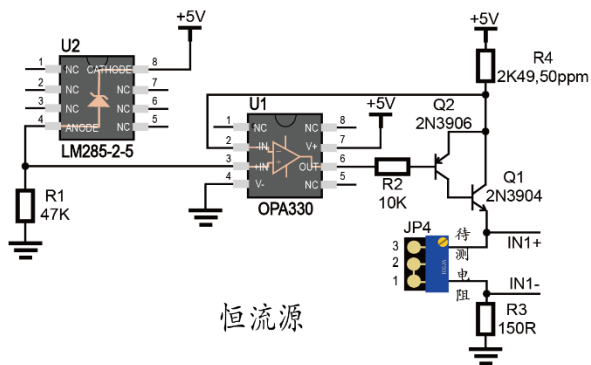
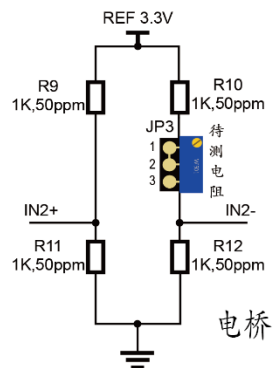
- 1 理解下图所示的等效原理图。
- 2 自行编写或从网站(<http://www.hpati.com>)上下载软件代码，将代码烧写到TIVA内。有关TIVA操作请参考前三章的内容。
- 3 将TIVA Launchpad、LCD模块、电阻测量模块分别插到母板的三个不同的槽位上。
- 4 先将电路配置成：恒流源+仪用运算放大器。用跳线帽短接如 4 5 所示的三个位置的插针；上电。
- 5 将一只500Ω的电位器如 3 所示插在JP8的三个孔中；调节金色旋钮；用万用表的两个表笔点测要接入的阻值，记录万用表读数。这个值作为待测电阻的理论值。记录数据到表4-1。
- 6 将电位器如 1 所示插到JP4的三个孔中；要接入电阻的两个脚分别对应JP4的2、3孔；观察LCD模块上的显示值，这个值为实测值。记录数据到表4-1。调整电阻值，重复5、6两个步骤，记录数据并分析电阻测量的误差和测量的范围。
- 7 改变电路配置成：电桥+仪用运算放大器。将JP5、JP6上的跳线帽换插到2、3两脚，如 6；将电位器如 2 所示插到JP3的三个孔中；要接入电阻的两个脚分别对应JP3的2、3孔；测量不同情况下的电阻的理论值和实测值，分析测量误差和测量范围。

附加实验内容：

- 1、调节R19，通过OPA330(U3)来改变INA333的REF，测量INA333的输出与REF端电平的关系。
- 2、将待测电阻接到恒流源组态，改变电阻值，观测输入共模信号和差模信号输出范围的关系。



实验一：等效原理图



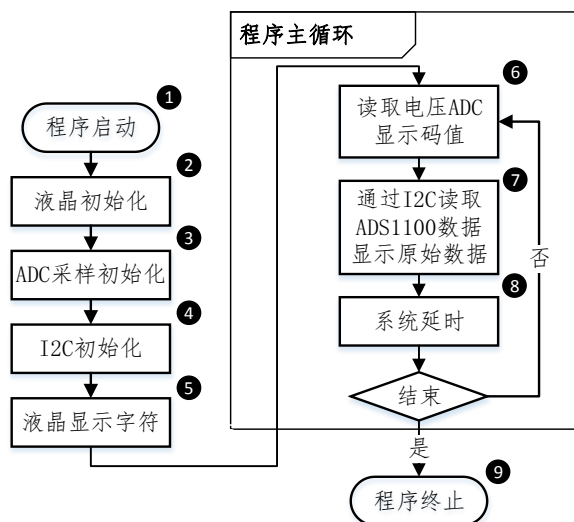
LaunchPad

实验一参考测试数据

注：括号内数字表示负值

恒流源+仪用运算放大器测电阻数据表					电桥+仪用运算放大器测电阻数据表				
标定	万用表 测量值(Ω)	INA 显示 压差(V)	标定 斜率	标定 零点	标定	万用表 测量值(Ω)	INA 显示 压差(V)	标定 斜率	标定 零点
	481.80	1.16	443.131	(32.232)		177.30	1.33	130.83	3.30
	7.65	0.09				9.84	0.05		
测量过程	万用表 测量值(Ω)	INA 显示 压差(V)	模块测量 值(Ω)	误差(%)	测量过程	万用表 测量值(Ω)	INA 显示 压差(V)	模块测量 值(Ω)	误差(%)
	481.80	1.16	481.80	0.00		242.20	1.81	240.10	(0.87)
	454.90	1.10	455.21	0.07		227.90	1.71	227.01	(0.39)
	414.80	1.01	415.33	0.13		206.90	1.55	206.08	(0.40)
	366.00	0.90	366.59	0.16		177.30	1.33	177.30	0.00
	339.80	0.84	340.00	0.06		139.20	1.04	139.36	0.11
	254.60	0.65	255.80	0.47		86.20	0.63	85.72	(0.56)
	197.20	0.52	198.20	0.51		77.30	0.57	77.87	0.74
	147.40	0.41	149.45	1.39		65.00	0.47	64.79	(0.33)
	98.70	0.30	100.71	2.03		52.40	0.37	51.71	(1.33)
	63.60	0.22	65.26	2.61		43.40	0.31	43.86	1.05
	35.68	0.16	38.67	8.38		36.50	0.25	36.01	(1.35)
	15.10	0.11	16.51	9.36		17.30	0.11	17.69	2.25
	7.65	0.09	7.65	(0.00)		9.84	0.05	9.84	0.00

软件流程图



电阻测量模块流程图

① USB线连接TIVA LaunchPad和计算机，使用CCS软件烧写程序。完成烧写后，TIVA LaunchPad上电后自行运行程序。

② 液晶（LCD）初始化详细内容参见第三章LCD模块相关内容。

③ ADC采样外设端口的电平根据和参考电平的比较，将数字量化输出。PB4采集电平转化的ADC采样值。

④ ADS1100芯片通过I2C通信协议与TIVA LaunchPad进行通信和数据交换。外设端口PA6、PA7设置为I2C的时钟和数据信号线，实现与TIVA的通信。

⑤ LCD显示诸如INA333 Measure: xx V, ADS1100 Measure: xx V等信息，便于实验过程中观察实验数据变化。

⑥ 周期性的通过ADC采样获取电平的ADC采样值，并在LCD直接显示出ADC的转化码值。

⑦ 周期性的通过I2C通信采样获取ADS1100采样码值并通过LCD直接显示。

⑧ 为了防止LCD显示内容过快的重复刷新，通过主动系统延时将主循环控制在较低的刷新频率上。（如 5Hz）

⑨ 当TIVA LaunchPad掉电后，程序会跳出主循环，程序终止。

关键代码分析

根据软件流程图的分析可知。获取两种不同方式的电压数字量，一个需要初始化 Tiva LaunchPad 的 ADC 功能并实时采样；一个需要初始化 I2C 通信并将接收到的数据合成为有效数据。

ADC 的初始化和数据采样

1、ADC 初始化

```
/* *****  
 * 初始化ADC获取滚轮电压值,用于电桥电路测量电阻  
 *      _____|  
//      |  
//      M4    PB4 |<--ADC0      模数转换信号源  
//      _____|  
***** */  
  
#define ADC_BASE      ADC0_BASE      // 使用ADC0  
#define SequenceNum    3              // 使用序列3  
void Init_ADC_Detect() {  
    // 使能 ADC0外设  
    ROM_SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_ADC0);  
    // 使能Port B外设端口  
    ROM_SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_GPIOB);  
    // 选择PB4作为模数装换ADC的管脚
```

```
ROM_GPIOPinTypeADC(GPIO_PORTB_BASE, GPIO_PIN_4);  
// 配置采样序列的触发源和优先级  
ROM_ADCSequenceConfigure(ADC_BASE, SequenceNum, ADC_TRIGGER_PROCESSOR, 0);  
// 配置采样序列发生器的步进  
ROM_ADCSequenceStepConfigure(ADC_BASE, SequenceNum, 0, ADC_CTL_CH10 | ADC_CTL_IE |  
                             ADC_CTL_END);  
  
// 使能一个采样序列  
ROM_ADCSequenceEnable(ADC_BASE, SequenceNum);  
// 清除采样序列中断源  
ROM_ADCIntClear(ADC_BASE, SequenceNum);  
}
```

2、ADC 数据采样

在程序主循环中以一定更新频率的不断采样 ADC 外设端口的电压值

```
while(1)  
{  
    // 对while做125ms的延时，每秒刷新频率为8Hz  
    ROM_SysCtlDelay(SysCtlClockGet() / 3 / 30);  
    //ADC测电阻  
    ADCProcessorTrigger(ADC_BASE, SequenceNum);  
    // 等待完成AD转换  
    while(!ADCIntStatus(ADC_BASE, SequenceNum, false))  
    {  
    }  
}
```

```
// 清楚ADC中断标志位
ADCIntClear(ADC_BASE, SequenceNum);

// 读取ADC值
ADCSequenceDataGet(ADC_BASE, SequenceNum, pui32ADC0Value);

// 根据参考电平3.3v将获取的数字量转化为实际电压值
sample_Bridge_Average = (pui32ADC0Value[0] * 3300) / 4096;

...

}
```

通过 I²C 控制 ADS1100，采集电压值

1、I²C 通信初始化

```
/* *****
 * 初始化AI2C获取ADS1100上的ADC电压数据,用于恒流源测量电阻
 *  _____|
//          |
//      M4   PA6|<--SCL      I2C协议时钟信号
//          PA7|<--SDA      I2C协议数据信号
//      _____|
***** */

void Init_I2C_Comm()
{

// 使能I2C1外设
```

```
    SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_I2C1);

    // 使能PortA外设端口
    SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_GPIOA);

    // 配置PA6、PA7为上拉端口
    GPIOPadConfigSet(GPIO_PORTA_BASE, GPIO_PIN_6 | GPIO_PIN_7, GPIO_STRENGTH_2MA,
GPIO_PIN_TYPE_STD_WPU);

    // PA6配置为I2C协议时钟信号、PA7配置为I2C协议数据信号
    GPIOPinConfigure(GPIO_PA6_I2C1SCL);
    GPIOPinConfigure(GPIO_PA7_I2C1SDA);
    GPIOPinTypeI2C(GPIO_PORTA_BASE, GPIO_PIN_6 | GPIO_PIN_7);
    GPIOPinTypeI2CSCL(GPIO_PORTA_BASE, GPIO_PIN_6);

    // 初始化I2C主机模块。设置总线速度和使能主机模块
    I2CMasterInitExpClk(I2C1_BASE, SysCtlClockGet(), false);

    // 使能I2C主机模块
    I2CMasterEnable(I2C1_BASE);
}
```

2、获取 ADS1100 通过 I2C 协议传输到 Tiva 的 ADC 数据

```
/******  
* 获取ADS1100上采集到的ADC数据  
* 通信协议:    1、设置读取的I2C从机地址(ADS1100);  
*              2、获取16Bit ADC电压数据中的高8Bit;  
*              3、获取16Bit ADC电压数据中的低8Bit;  
*              4、得到ADS1100的配置信息  
*****/  
uint32_t I2C_ADC_OpReg_MSB_i;    // 保存通过I2C读取ADS1100的16位AD的高字节  
uint32_t I2C_ADC_OpReg_LSB_i;    // 保存通过I2C读取ADS1100的16位AD的高字节  
uint32_t I2C_ADC_ConfigReg_i;  
#define DELAY_6MS      (SysCtlClockGet() / 3) / 150000  
void CatchI2C()  
{  
    // 恒流源测电阻  
    I2CMasterSlaveAddrSet(I2C1_BASE, SLAVE_ADDRESS, true);  
  
    //#####  
    I2CMasterControl(I2C1_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_RECEIVE_START);  
    while(I2CMasterBusy(I2C1_BASE));  
    I2C_ADC_OpReg_MSB_i = I2CMasterDataGet(I2C1_BASE);  
    //#####  
    I2CMasterControl(I2C1_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_RECEIVE_CONT);  
    while(I2CMasterBusy(I2C1_BASE));  
}
```

```
I2C_ADC_OpReg_LSB_i = I2CMasterDataGet(I2C1_BASE);
//#####
I2CMasterControl(I2C1_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_RECEIVE_FINISH);
while(I2CMasterBusy(I2C1_BASE));
I2C_ADC_ConfigReg_i = I2CMasterDataGet(I2C1_BASE);
}
```

3、将 ADC 数据转化为实时电压数据

```
// 将高8位数据放置高8位上
temp1 = (I2C_ADC_OpReg_MSB_i & 0x000000FF) << 8 ;
// 将低8位数据放置低8位上
temp2 = (I2C_ADC_OpReg_LSB_i & 0x000000FF);
// 合并高低位数据为完整的采样数据
temp3 = (int16_t)(temp1 + temp2);
```

4、得到的 temp3 就是最终 ADS1100 获得的 16 位电压数据采样值。记录下后可用于后面的数据测试和分析。

实验二参考测试数据

注：括号内数字表示负值

恒流源+ $\Delta-\Sigma$ 型 ADC ADS1100 测电阻数据表					电桥+ $\Delta-\Sigma$ 型 ADC ADS1100 测电阻数据表				
标定	万用表 测量值(Ω)	ADS1100 显示压差(V)	标定 斜率	标定 零点	标定	万用表 测量值(Ω)	ADS1100 显示压差(V)	标定 斜率	标定 零点
	487.20	0.488	997.07	0.63		182.20	0.135	1342.72	0.93
	7.61	0.007				14.36	0.010		

测量过程	万用表 测量值(Ω)	ADS1100 显示压差(V)	模块测量 值(Ω)	误差(%)	测量过程	万用表 测量值(Ω)	ADS1100 显示压差(V)	模块测量 值(Ω)	误差(%)
	487.20	0.488	487.20	0.00		246.20	0.182	245.31	(0.36)
	410.40	0.411	410.43	0.01		203.90	0.151	203.68	(0.11)
	381.10	0.381	380.51	(0.15)		182.20	0.135	182.20	0.00
	329.30	0.330	329.66	0.11		166.90	0.123	166.09	(0.49)
	254.30	0.251	250.89	(1.34)		129.00	0.096	129.83	0.65
	202.00	0.202	202.04	0.02		88.63	0.065	88.21	(0.47)
	152.45	0.152	152.18	(0.17)		73.75	0.054	73.44	(0.42)
	96.12	0.096	96.35	0.24		65.78	0.049	66.73	1.44
	62.86	0.062	62.45	(0.65)		54.98	0.040	54.64	(0.62)
	15.58	0.015	15.59	0.04		35.51	0.026	35.84	0.94
	7.61	0.007	7.61	(0.00)		14.36	0.010	14.36	0.00