

采用ADuCM350的电流/恒电位仪测量

简介

ADuCM350是一款超低功耗集成混合信号计量解决方案，包含一个微控制器子系统用于处理、控制和连接。该处理器子系统基于低功耗ARM Cortex™-M3处理器，由数字外设、嵌入式SRAM和闪存、一个提供时钟、复位和功耗管理功能的模拟子系统组成。

ADuCM350专门针对电化学反应的高精度分析而设计。

本应用笔记说明如何设置ADuCM350以在一个模拟典型电化学单元的RC传感器上进行电流/恒电位仪型测量。

目录

简介.....	1	电流测量示例.....	5
修订历史.....	2	电流测量结果.....	11
AFE和基本环路理论详解.....	3	RC时间常数.....	11
模拟前端.....	3	ADC看到的电流.....	11
基本环路理论.....	3		

修订历史

2014年2月—修订版0： 初始版

AFE和基本环路理论详解

模拟前端

ADuCM350模拟前端(AFE)数据采集环路由激励缓冲放大器环路、跨阻放大器(TIA)和开关矩阵组成。开关矩阵是一个可编程接口，带有外部传感器配置和校准电阻。

激励缓冲放大器环路用于：

- 缓冲经过滤波的DAC电压以提供必要的传感器激励电流。
- 为AFE激励环路提供增益以便精确设置传感器激励电压。
- 提供反馈电容和电阻以及来自激励缓冲器的增益，并在环路中放置一个零点以提高增益激励频率。
- 提供高阻抗输入，以便通过传感器的检测接入电阻精确检测激励电压。

跨阻放大器用于：

- 为ADC测量提供电流到电压转换，其增益由外部电阻设置。
- 吸收传感器激励电流。
- 确保精确设置工作电极电压，其为传感器的共模电压。
- 提供ADC前方的抗混叠滤波器。

开关矩阵用于：

- 相对于外部已知电阻校准未知传感器阻抗。
- 测量传感器接入电阻、开关电阻和漏电流以进行校准。

基本环路理论

图1显示了一个4线式传感器配置。来自DAC的激励电压经过调理和缓冲后送至D节点。此信号通过AFE8切换(开关D8闭合)到传感器的反电极。工作电极保持AFE1处的固定共模电压(开关T1闭合)。这导致一个电流从D节点经过传感器流到T节点。此电流由TIA反馈路径上的RTIA转换为电压。

$$\text{流入T节点的电流} = (V_{\text{COUNTER}} - V_{\text{WORKING}}) / Z_{\text{SENSOR}}$$

$$\text{ADC看到的电压} = \text{流入T节点的电流} \times R_{\text{TIA}}$$

传感器同时由P和N节点以差分方式进行检测。P和N均通过仪表放大器利用AFE6(开关P6闭合)和AFE3(开关N3闭合)反馈到激励级的反馈环路中。激励放大器环路迫使传感器上的差分电压(AFE6至AFE3)等于DAC输出电压。P和N开关均有非常高的输入阻抗，以保证没有电流流入检测线。这种单端激励/差分检测配置支持高精度的电流测量配置系统。

对于2线或3线式传感器配置(典型台式恒电位仪型设备便是如此)，P和/或N检测线可通过开关矩阵内部相连。在图2中，P反馈连接AFE8(开关P8闭合)，N反馈连接AFE1(开关N1闭合)。

$$\text{流入T节点的电流} = (V_{\text{AFE8}} - V_{\text{AFE1}}) / (R_A + Z_{\text{SENSOR}} + R_A)$$

$$\text{ADC看到的电压} = \text{流入T节点的电流} \times R_{\text{TIA}}$$

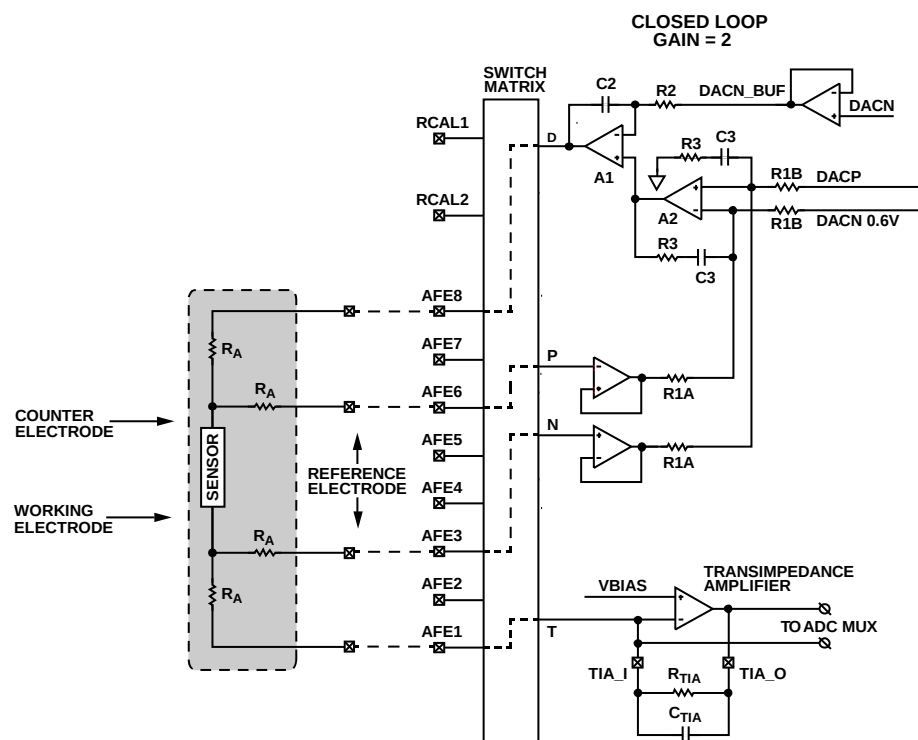


图1. AFE激励环路框图—4线式配置

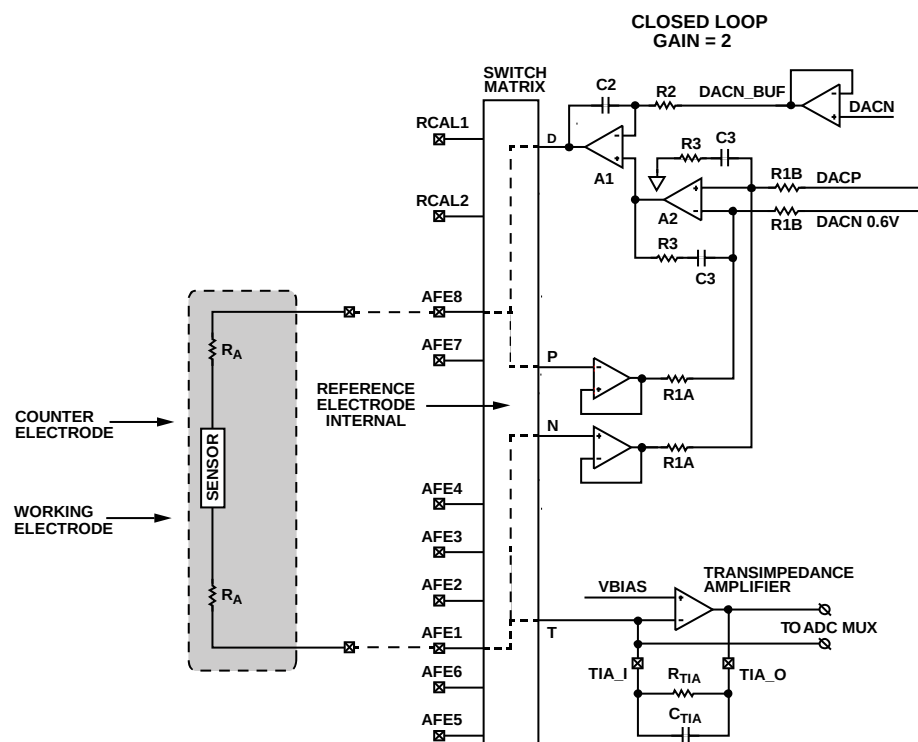


图2. AFE激励环路框图—2线式配置

电流测量示例

本节中的示例测量一个采用RC型传感器的2线式传感器配置中从反电极流到工作电极的电流。配置如图3所示。

在零时间处($t = 0$)，反电极处于中间电平(1.1 V)，工作电极处于1.1 V的共模电压(VBIAS)，传感器中无电流流动。500 μ s后($t = 1$)，将一个300 mV步进电压施加于传感器的反电极(配置DAC输出1.4 V)。

由此产生的电流流经传感器，被 R_{TIA} 和跨阻放大器转换为电压。

注意，传感器详情如下：

- $C_s = 10\ \mu\text{F}$
- $R_s = 6.8\ \text{k}\Omega$

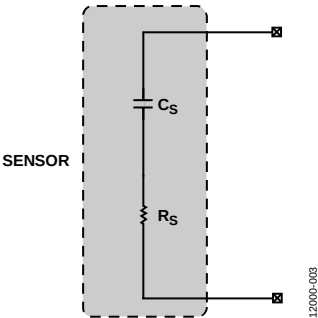


图3. RC传感器模型

理论计算

RC时间常数(τ)为RC电路的时间常数。它是指电容通过电阻放电或充电，初始值与最终值之差达到约63.2%时所需的时间。对于一个RC电路，

$$\tau = R \times C$$

$$\tau = 6.8\ \text{k}\Omega \times 10\ \mu\text{F} = \sim 68\ \text{ms}$$

由于难以获得大于1 nF的高精度电容，故而使用一个大电容。

此电容为 $\pm 20\%$ X5R电介质元件。

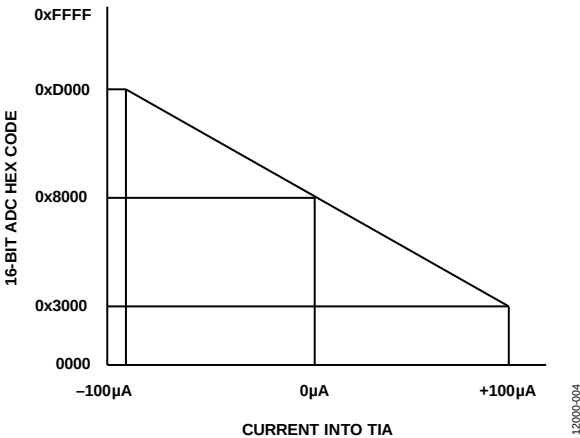


图4. 传感器/TIA测量期间的理想ADC通道传递函数(7.5 kΩ R_{TIA})

图4显示了针对TIA通道测量的ADC理想传递函数(R_{TIA} 为7.5 kΩ)。

$$0xD000 - 0x3000 = 0xA000 = 40960(\text{十进制})$$

$$200\ \mu\text{A} / 40960 = 4.88\ \text{nA}$$

折合为TIA的输入电流时(假设 R_{TIA} 为7.5 kΩ)，这相当于ADC的1 LSB。

计算可知，达到 V_{MAX} 的63.2%需要4340个数字码。

$$4.88\ \text{nA} \times 4340 = 21.1\ \mu\text{A}$$

采用LabVIEW GUI的电流测量设置

测量利用ADuCM350评估板和LabVIEW®评估软件执行(参见图5)。

在本节的例子中，该器件设置为2线模式，D和P连接到AFE6，T和N连接到AFE5。这是通过AFE Switch Matrix Configuration(AFE开关矩阵配置)来完成的，如图5所示。

电压步进设置为从0 V变为+300 mV，基准为1.1 V系统共模电压。

使能电流电压开关(IVS)以分流TIA看到的初始电流尖峰，并将 R_{TIA} 和 C_{TIA} 短路以防止接收级到电压轨而丧失稳定性。

TIA通道可以测量的最大电压为750 mV p-p。选择 $7.5\text{ k}\Omega R_{TIA}$ ，可以测量的最大电流为100 μA 。

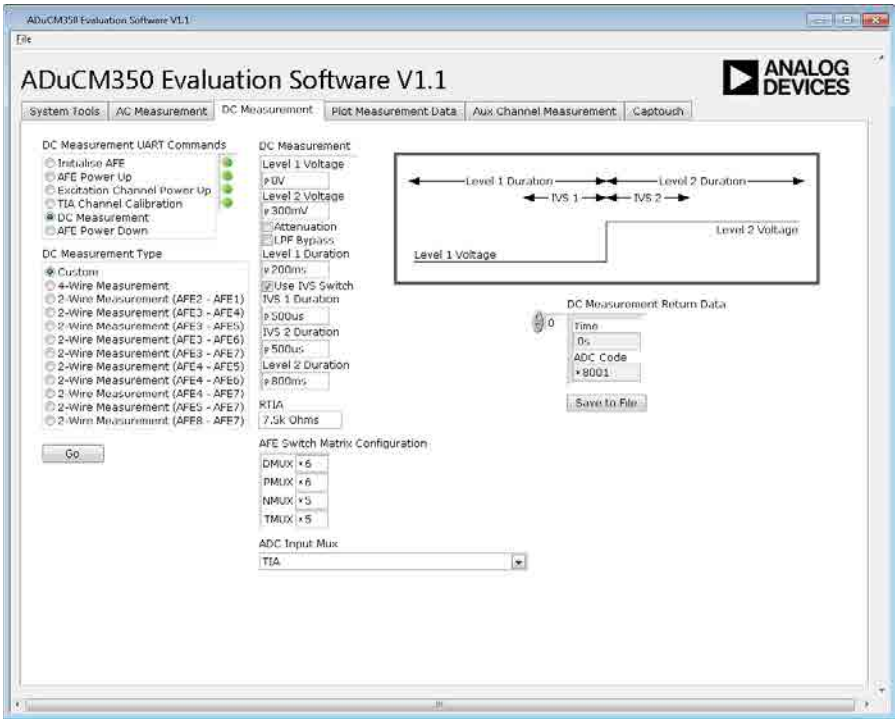


图5. 采用ADuCM350评估套件的ADuCM350 LabVIEW GUI

12006-007

在DC Measurement UART Commands(直流测量UART命令)窗口中选择DC Measurement(直流测量)，如图5所示。设置完毕后，单击Go(启动)以执行测量。

查看数据有以下两种选择：

- 转到Plot Measurement Data(测量数据绘图)窗口并选择所需的绘图。本例选择DC: ADC Code vs. Time(直流：ADC代码与时间的关系)，参见图6。
- 单击DC Measurement(直流测量)窗口上的Save to File(保存到文件)(参见图5)，然后在Microsoft®Excel中打开文件。

注意0.2秒后的RC阶跃响应。

对于较大RC时间因数，当RC从浮空态被拉到已知状态时，开关从全部断开到全部闭合会有一个建立时间。

此建立时间在LabVIEW中无法控制，因为开关闭合后有一个固定的等待时间。它在IAR电流测量示例中可以进行控制。更多信息参见“SDK中的Amperometric Measurement.c示例”部分。

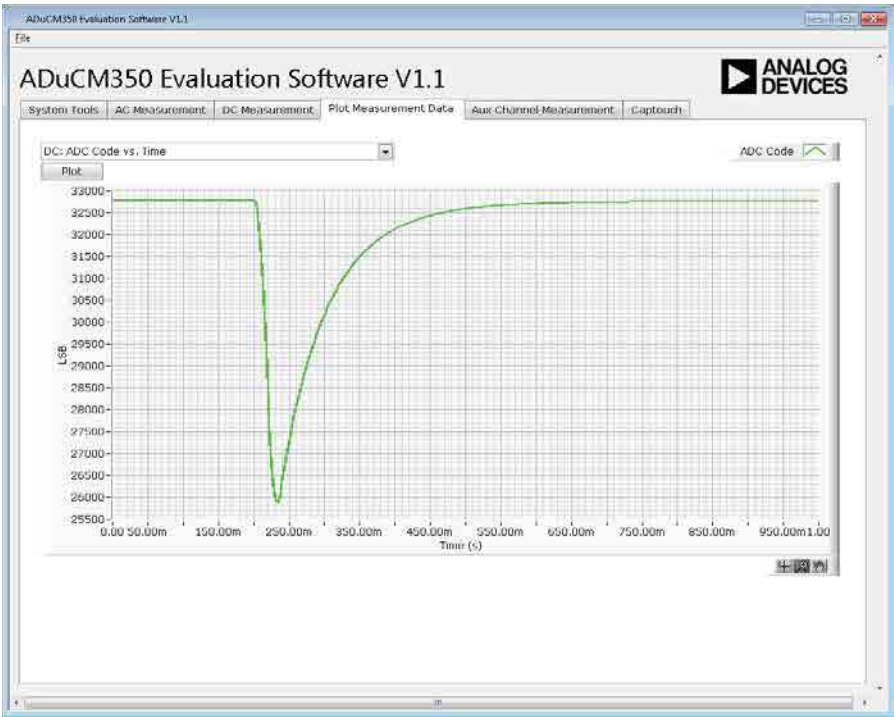


图6. ADuCM350 LabVIEW GUI—ADC结果绘图

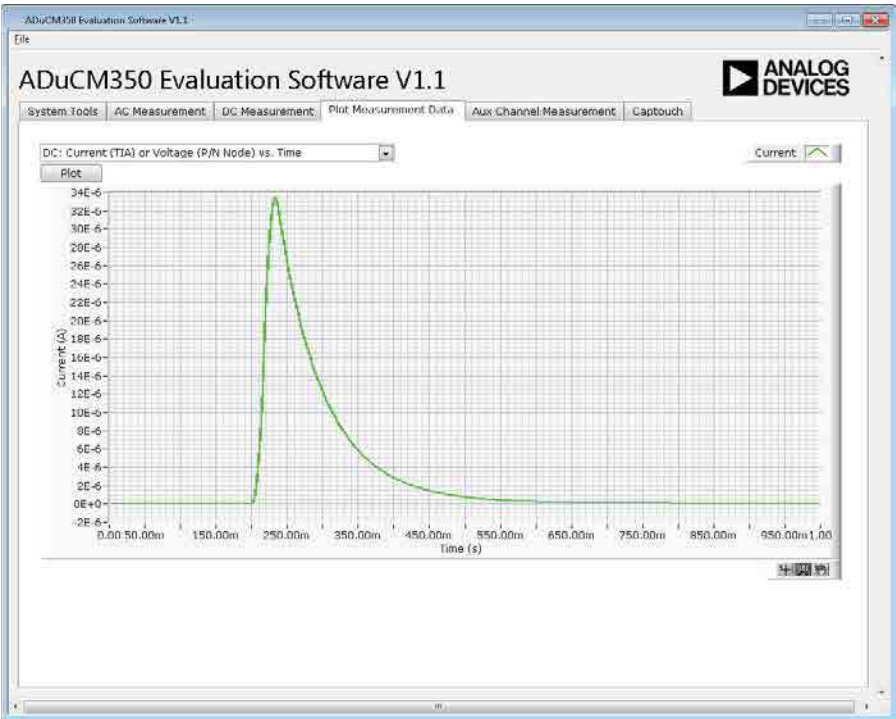


图7. ADuCM350 LabVIEW GUI—电流结果绘图

12000-009

SDK中的Amperometric Measurement.c示例

在ADuCM350BBCZ IAR软件开发环境中找到电流测量示例项目。例如：C:\Analog Devices\ADuCM350BBCZ\Eval-ADUCM350EBZ\examples\AmperometricMeasurement\iar\AmperometricMeasurement.eww。

关于在IAR中设置测量的详细信息，参见图8。

用户可控制的变量有：

- 直流电平1
- 直流电平2
- 直流电平1持续时间
- 直流电平2持续时间
- IVS开关1持续时间
- IVS开关2持续时间
- 衰减使能(DAC_ATTEN_EN)
- 电源抑制滤波使能(LPFBYPASS)
- 使能IVS开关稳压器

施加一个从直流电平1到直流电平2的步进电压。使能IVS开关以防止TIA上出现电流尖峰，避免信号到轨(这与传感器相关，因此是一项很好的措施)。

样本数受AFE DMA缓冲器大小的限制，最大限值为1024。ADC采样速率为900 SPS，1.38秒后缓冲器填满。

确定阶跃时间和相应的衰减时，需要考虑这一缓冲限制。

对于较大RC时间因数，当RC从浮空态被拉到已知状态时，开关从全部断开到全部闭合会有一个建立时间。此建立时间可由ADC转换来捕捉，除非开关闭合后有一个明显的延迟时间。本例选择400 ms的延迟时间，以便环路能完全建立(参见图9中的第111行)。注意：如果开关未从测量模式变为休眠模式，则发出开关闭合的初始命令之后，不需要这一延迟时间。

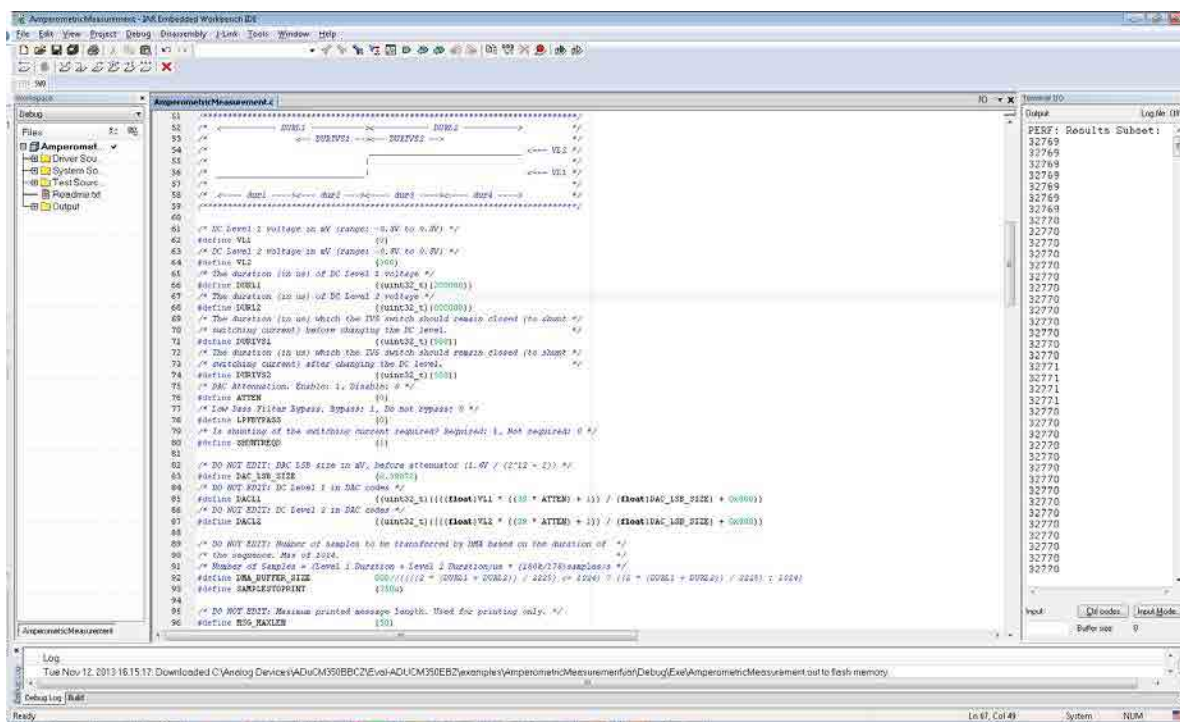


图8. ADuCM350 IAR中的电流测量设置

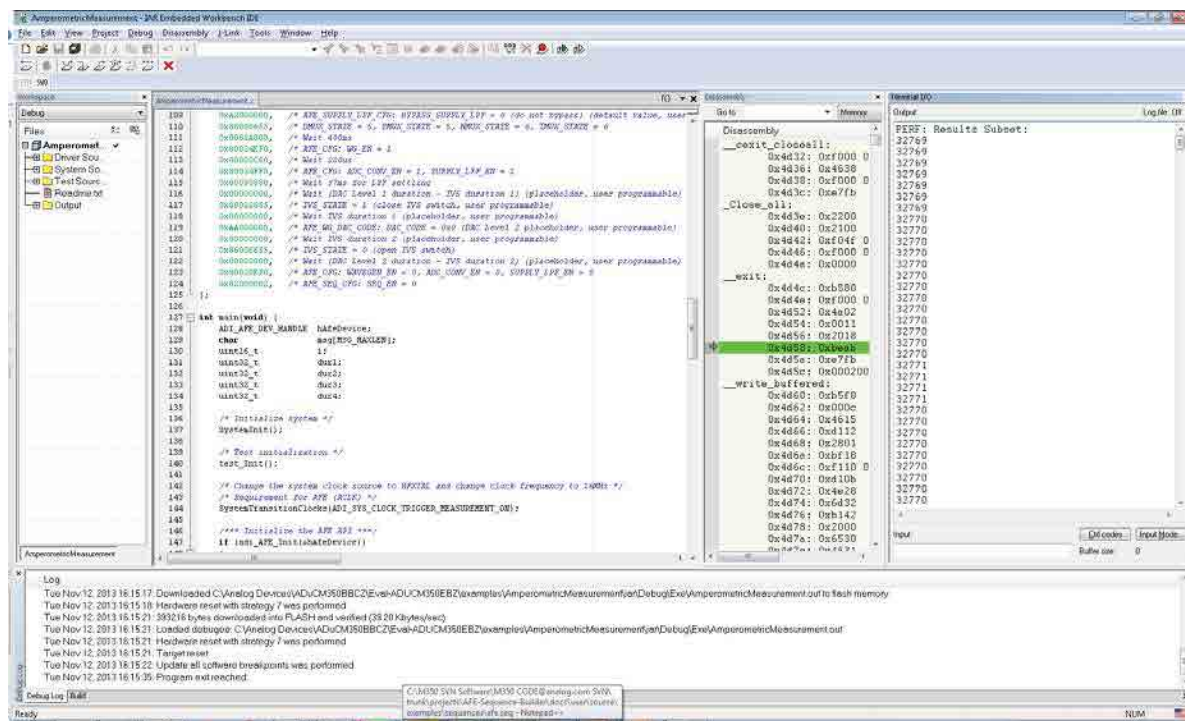


图9. ADuCM350 IAR软件开发套件中的电流测量示例

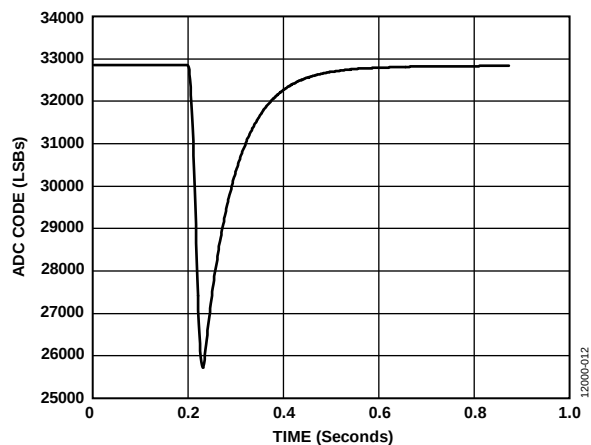


图10. ADuCM350 IAR结果—ADC代码复制自终端I/O窗口

电流测量结果

RC时间常数

根据ADuCM350的实际测量，图6绘出了从约25900个数字码到32768个数字码(中间电平)的建立时间(单位为ADC LSB)。

$$32768 - 25900 = 6868 \text{ 个数字码}$$

时间常数(τ)为达到 V_{MAX} 的63.2 %之后经过的时间。

$$63.2\% \times 6868 = 4340 \text{ 个数字码}$$

$$25900 + 4340 = 30240 \text{ 个数字码}$$

图6显示，实际测量需要约65.6 ms以达到最终建立电压(中间电平)的63.2%。

此测量值(~65.6 ms)与理论值68 ms符合得很好(更多信息参见“理论计算”部分)。必须考虑电容的差异。

ADC看到的电流

参考图7中的实测电流曲线，ADuCM350测量的最大值为33.5 μA 。

$$63.2\% \times 33.5 \mu\text{A} = 21.17 \mu\text{A}$$

这与理论测量值21.1 μA 非常接近(更多信息参见“理论计算”部分)。

注意，本例仅使用了ADC完整范围中的一个小范围。为了提高ADC的使用范围，可以采用如下措施：

- 提高步进电压幅度。但对于某些电化学单元，这可能有所限制。
- 提高 R_{TIA} 值，这会降低可测量的电流范围。注意开关矩阵是可以配置的，如果需要可编程增益类型架构，用户可以切换使用不同的 R_{TIA} 值。
- 考虑到这种特殊传感器的超慢衰减，还有一个选择是使用900 SPS ADC数据的移动平均来将分辨率从16位提高到17位/18位等。

注释