

针对阻抗转换优化ADuCM350

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。

本应用笔记说明如何设置ADuCM350以利用双线测量方法最优地测量RC传感器的阻抗。为了优化阻抗测量的精度，用户必须最大程度地使用16位ADC范围。为此，峰峰值激

励输出电压、 R_{TIA}/C_{TIA} 组合和校准电阻全都需要计算。控制该计算的是流入负载的最大容许电流。

如果没有限制，则用户可以使跨阻放大器(TIA)输入ADC的信号摆幅最大，以获得尽可能好的SNR。

然而，如果负载电流有限制，例如在双线生物阻抗应用中为了满足IEC 60601标准，则用户应计算最大容许电流，并在电路中采取防范措施。

目录

简介.....	1	情况1：负载电流无限制	3
修订历史.....	2	情况2：负载电流有限制	4
详细说明.....	3	LabVIEW中的阻抗测量示例	6
传感器配置	3	软件开发套件中的阻抗测量示例.....	8
计算传感器的最小理想阻抗.....	3		
RCAL计算	3		

修订历史

2014年3月—修订版0至修订版A

更改图5	6
------------	---

2013年12月—修订版0：初始版

详细说明

传感器配置

在本应用笔记所述的例子中，用户想要利用图1所示配置测量一个RC型传感器在1 kHz激励信号下的阻抗。

传感器详情如下：

$$C_p = 10 \text{ nF至} 600 \text{ nF}$$

$$R_p = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_s = 1 \text{ k}\Omega$$

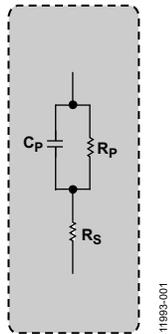


图1. 传感器RC配置

计算传感器的最小理想阻抗

第一步是计算传感器的最低未知阻抗。由此可以计算输入TIA的最高电流信号。

对于图1中的传感器，当 $C_p = 600 \text{ nF}$ 时，传感器阻抗处于最小值。

为了计算总阻抗 Z_T ，第一步是计算 C_p 电容的阻抗。

$$Z_{C_p} = \frac{1}{2\pi f C_p} = -i265.26$$

其中：

f 为激励频率1 kHz。

C_p 为600 nF。

然后计算并联元件 $R_p \parallel C_p$ 的阻抗。

$$1/Z_p = 1/Z_{R_p} + 1/Z_{C_p}$$

或者简化为：

$$Y_p = Y_{R_p} + Y_{C_p}$$

$$Y_{R_p} = 1/10,000$$

$$Y_{C_p} = 1/-i265.26$$

$$Y_p = 1 \times 10^{-4} + i3.77 \times 10^{-3} \text{ (C lags by } 90^\circ\text{)}.$$

计算 Y_p 的幅度：

$$\text{幅度} = \sqrt{R^2 + I^2}$$

$$|Y_p| = 0.00377$$

取其倒数得到：

$$|Z_p| = 265.16 \Omega$$

计算 Y_p 的相位：

$$\text{相位(弧度)} = \text{atan}(I/R) = 1.544$$

$$\text{相位(度)} = \text{相位(弧度)} \times \frac{180}{\pi} = -88.48^\circ$$

$$\text{并联RC的阻抗} = Z_p = 265.16 \angle -88.48$$

现在加上 R_s 串联电阻：

$$Z_T = Z_p + Z_s$$

$$Z_p = 265.16 \angle -88.48 = 7.03 - i265.06$$

$$Z_s = 1000 \angle 0 = 1000 + i0$$

将这两个复数相加：

$$Z_T = 1007.03 - i265.06 = 1041 \angle -14.75$$

这是该器件的最低阻抗，它决定TIA看到的最大电流。

RCAL计算

为了计算RCAL值以校准系统，需使用最低未知阻抗 Z 。如果RCAL等于最小阻抗的幅度，进入DFT的信号将很大，这会改善可重复性和精度。

因此，本例使用大约1041 Ω 的RCAL。

情况1：负载电流无限制

当负载电流无限制时，可以使用最大信号摆幅来使ADC结果的SNR最大。

- 最大信号摆幅为600 mV峰值。
- 流入TIA的最高信号电流 = 600 mV峰值/1041 Ω = 0.576 mA峰值。
- TIA输出端的峰值电压(ADuCM350允许的最大值) = 750 mV峰值。
- 对于峰值信号电流，产生750 mV峰值电压的 R_{TIA} 电阻：
750 mV/0.576 mA = 1.302 k Ω

为了提高接收通道的抗混叠性能和稳定性，将一个抗混叠电容与 R_{TIA} 并联。选择80 kHz的3 dB点(这是系统的最大带宽)。

$$C_{TIA} = \frac{1}{2\pi f R_{TIA}} = \frac{1}{2 \times \pi \times 80 \text{ kHz} \times 1.302 \text{ k}\Omega} = 1.5 \text{ nF}$$

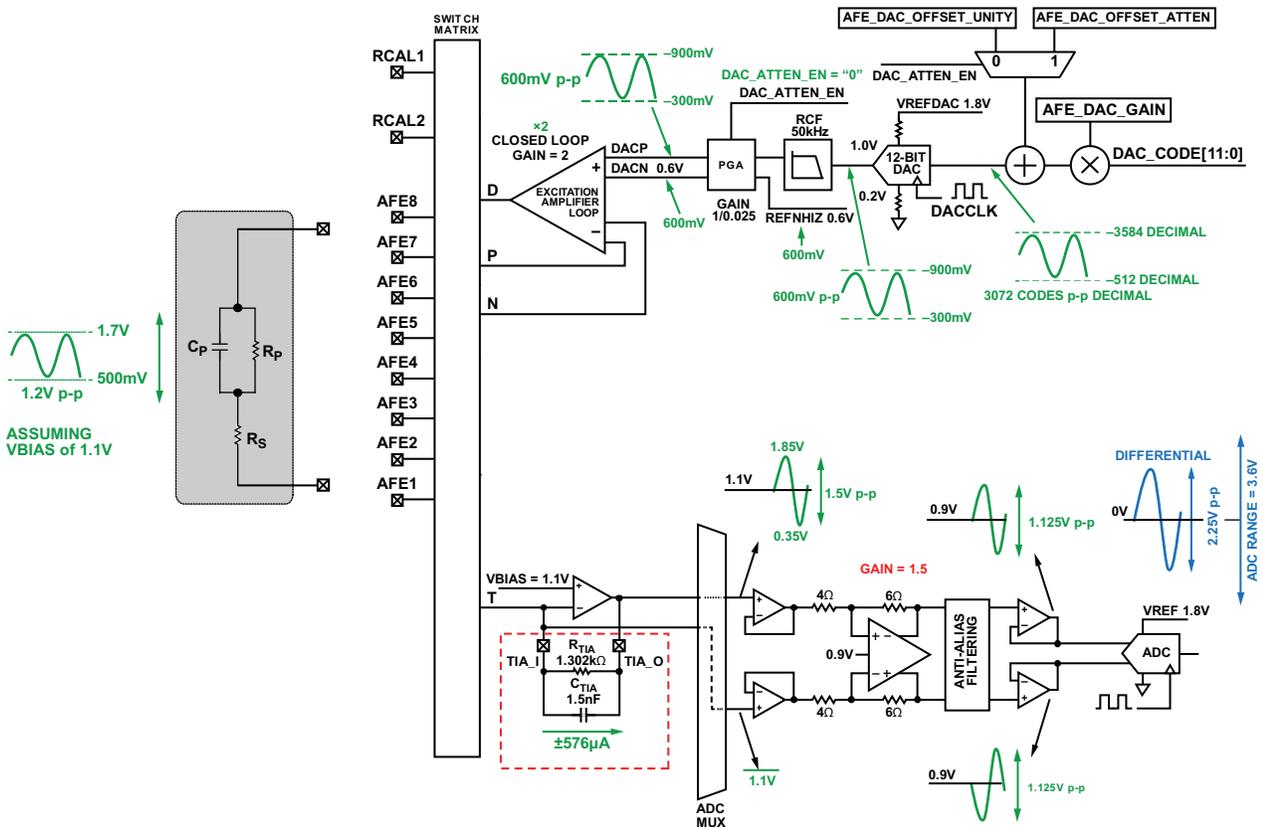


图2. 负载电流无限制情况下的信号摆幅

情况2：负载电流有限制

当负载电流有限制时，应采取不同的方法。本例中，IEC 60601身体浮空标准允许的最大漏电流为100 μA rms。因此，本例假设50 μA rms/70.7 μA 峰值为最大电流是安全的。

从单一故障校正角度看，考虑到身体浮空标准，各分支包括以下元件：

- 1 μF C_S 隔直电容
- 一个代表某种形式引脚的串联电阻(R_{LEAD})

将一个200 Ω 的额外限流串联电阻 R_{LIMIT} 连接到驱动分支。

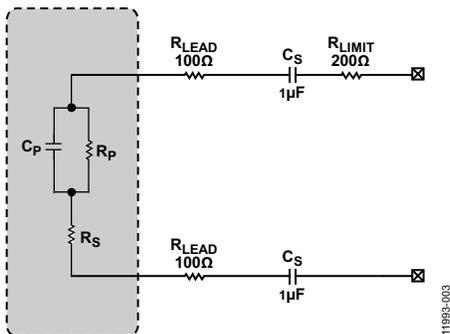


图3. 单一故障外部保护情况下的传感器

传感器的最小阻抗仍为1041 Ω 。ADuCM350 TIA看到的这个最小阻抗现在要加上串联元件。

计算网络中额外电路的阻抗：

$$200 \Omega + 100 \Omega + 100 \Omega + 1 \mu\text{F} + 1 \mu\text{F}$$

假设激励频率为1 kHz。

电容为串联，因此

$$C_T = (C_1 \times C_2) / (C_1 + C_2)$$

其中 $C_T = 0.5 \mu\text{F}$ 。

$$Z_C = 1 / (2 \pi f C_T) = 1 / (2 \times \pi \times 1 \text{ kHz} \times 0.5 \mu\text{F}) = -i318.3$$

$$R_T = R_{LIMIT} + R_{LEAD} + R_{LEAD} = 400$$

$$\text{总额外电路阻抗} = 400 - i318.3$$

TIA看到的最小阻抗为传感器最小阻抗加上额外电路阻抗转换器的最小阻抗。

$$Z_T = (400 - i318.3) + (1007.03 - i265.06) = 1407 - i583.4 = 1523 \angle -22.5$$

这就是ADuCM350看到的最小阻抗。出于安全原因，将此值降低20%以免ADC结果超范围。

因此，假设最小阻抗为1218.4 Ω。Cortex-M3将任何低于此值的阻抗测量结果标记为无效结果。应检查连接，因为该标志说明ADC发生超范围情况或遇到其他错误。

因此，对于1218.4 Ω的最小阻抗，为了支持最大70.7 μA峰值的电流，需要一个正弦波幅度。

$$70.7 \times 10^{-6} \times 1218.4 \Omega = 86 \text{ mV峰值}$$

注意：当DAC衰减器使能时(DAC_ATTEN = 1)时，最大允许的正弦波幅度为15 mV峰值。由于86 mV峰值超过此值，因此有两个选择。第一个选择是使用15 mV峰值，但信噪比会降低。第二个选择是禁用DAC衰减器，在无衰减模式下选择86.5 mV峰值。该选择的缺点是LSB大小会提高40倍。

无衰减模式：

$$LSB大小 = 1.6 \text{ V}/2^{12} = 390 \mu\text{V p-p} = 195 \mu\text{V峰值}$$

衰减器模式：

$$LSB大小 = 1/40 (1.6 \text{ V}/2^{12}) = 9.76 \mu\text{V p-p} = 4.88 \mu\text{V峰值}$$

LSB越大，则测量的分辨率越低，因而产生正弦波并测量响应时的量化噪声就越多。

继续讨论本例，使用15 mV峰值正弦波并使能衰减(DAC_ATTEN = 1)。

计算TIA看到的电流：

$$15 \text{ mV峰值}/1218.4 \Omega = 12.3 \mu\text{A峰值信号}$$

然后计算 R_{TIA} 和 C_{TIA} 以优化ADC范围，其中 R_{TIA} 电阻给出750 mV峰值电压信号电流。

$$750 \text{ mV}/12.3 \mu\text{A} = 60.98 \text{ k}\Omega$$

为了提高接收通道的抗混叠性能和稳定性，将一个抗混叠电容与 R_{TIA} 并联。选择80 kHz的3 dB点(系统的最大带宽)。

$$C_{TIA} = 1/2\pi f R_{TIA}$$

$$= 1/(2\pi \times 80 \text{ kHz} \times 60.98 \text{ k}\Omega)$$

$$= 32.6 \text{ pF}$$

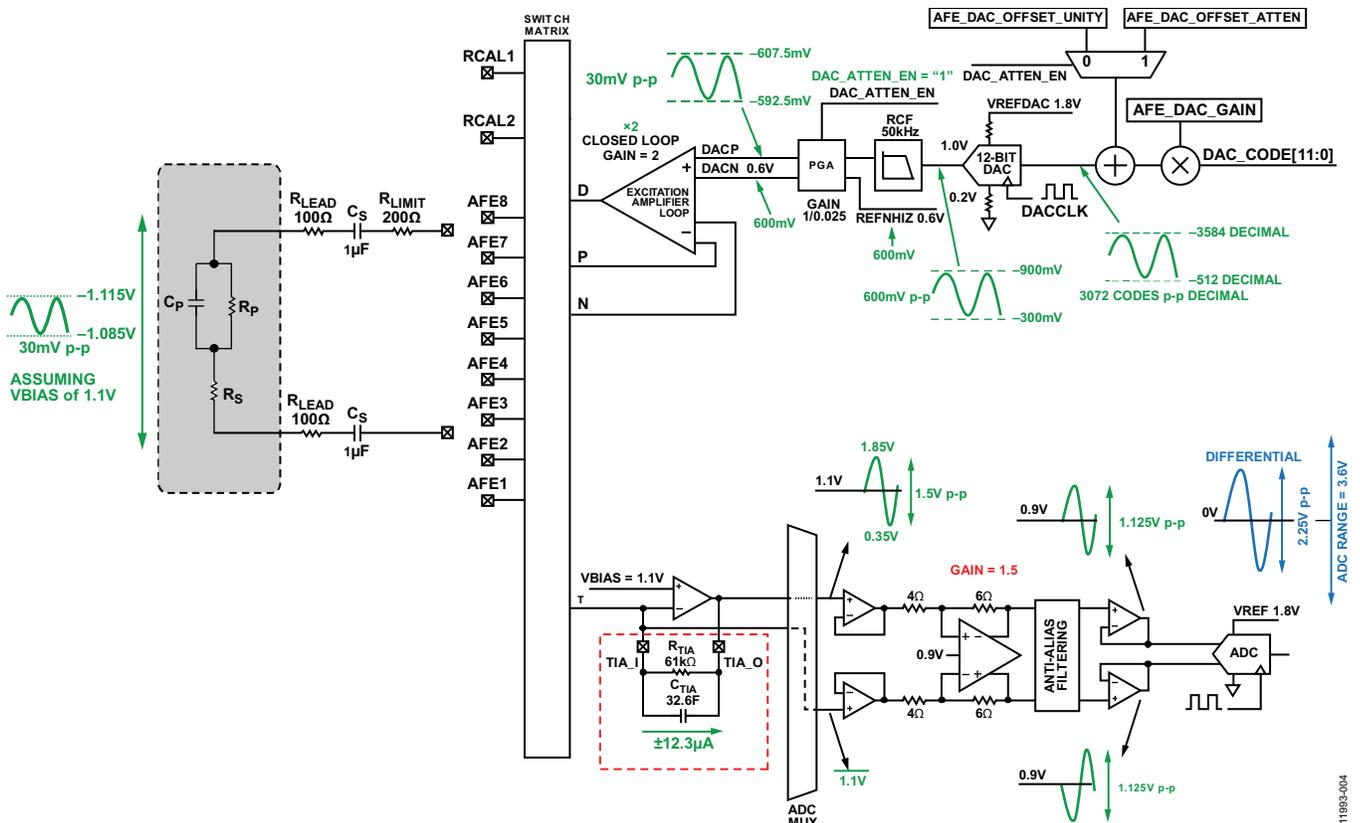


图4. 负载电流有限情况下的信号摆幅

AN-1271

LabVIEW中的阻抗测量示例

ADuCM350 LabVIEW® GUI可以测量阻抗并快速给出传感器测量原型。

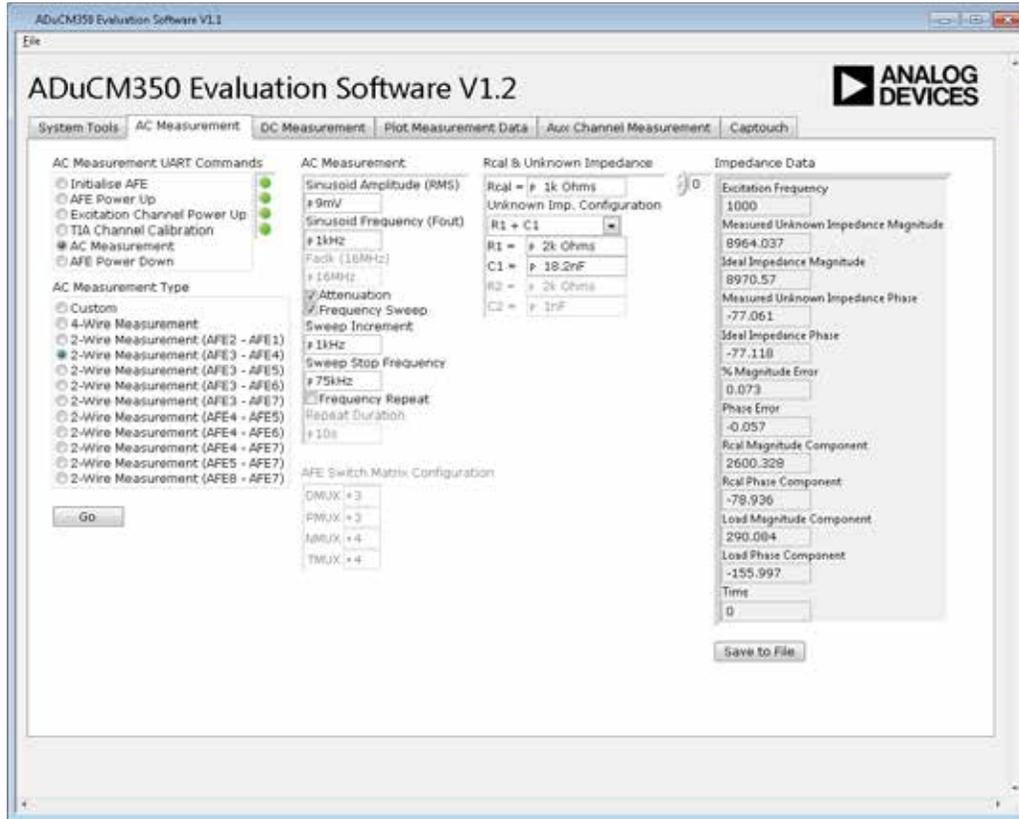


图5. LabVIEW阻抗测量AFE控制

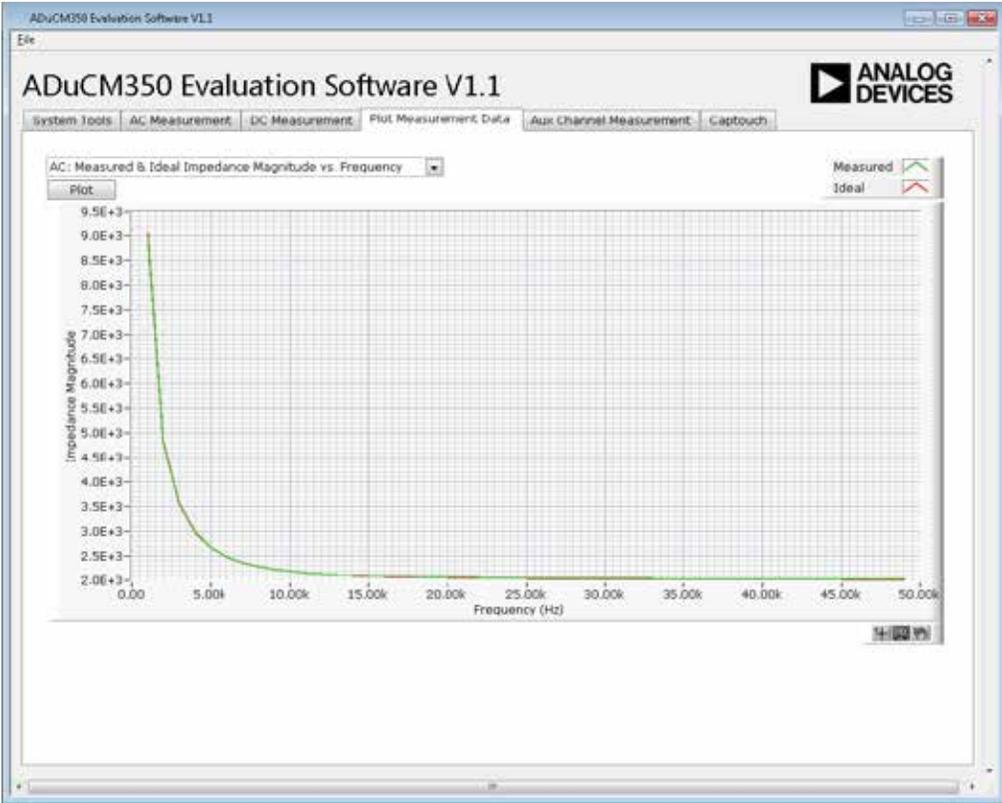


图6. LabVIEW阻抗测量结果

11953-006

软件开发套件中的阻抗测量示例

基于IAR嵌入式工作台的软件开发套件包括一个ImpedanceMeasurement_2Wire示例。本例验证ADuCM350上阻抗转换器的性能。

示例步骤是测量三个未知双线阻抗。

- AFE3至AFE4
- AFE4至AFE5
- AFE5至AFE6

在代码中很容易设置激励频率、激励电压和RCAL的值。可以将测量的其他变更写入测量序列中。本示例项目的readme部分提供了更多信息。

图7显示了一个测量示例。实部和虚部均进行了计算。

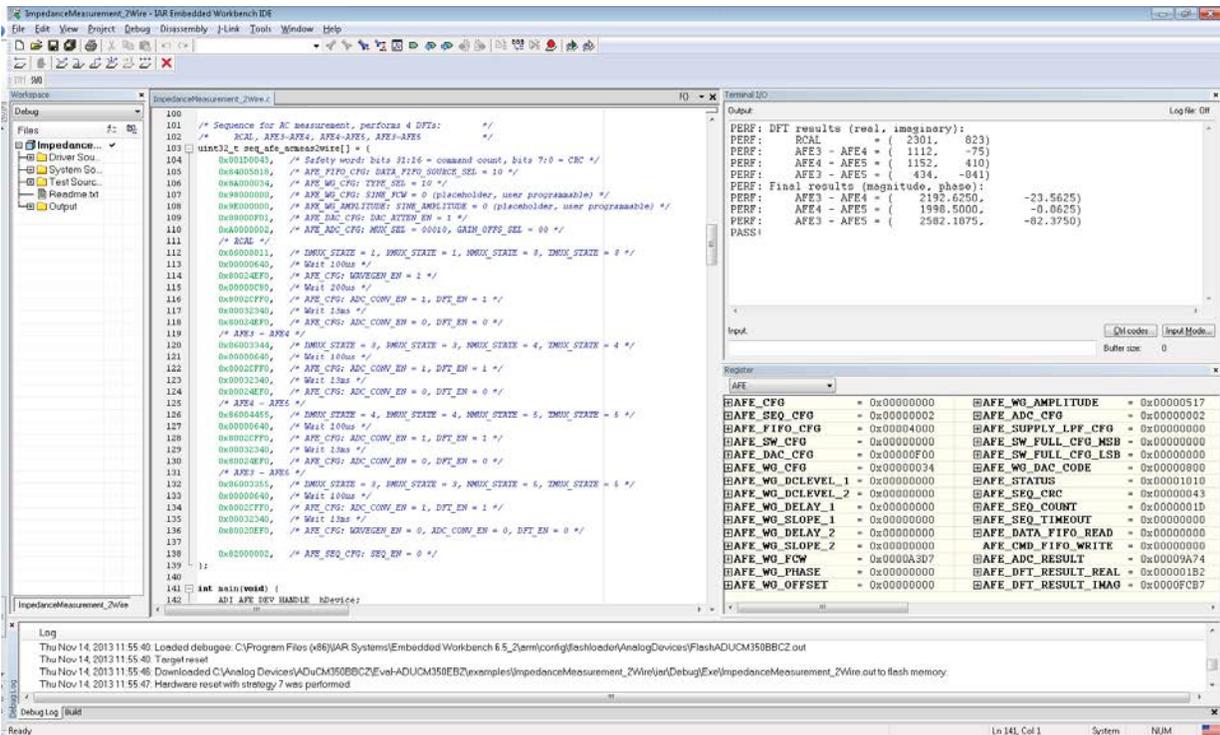


图7. 负载电流有限情况下的信号摆幅