
ADC 和噪声抑制

特性

- 使用 ADC 计算模式实现噪声抑制：基本模式、累加模式、平均模式、突发平均模式和 LPF 模式
- 自动转换触发器
- 使用信号和噪声发生器板生成含噪声和无噪声的信号
- 在 *Data Visualizer* 中绘制 ADC 采样波形图
- 交流/直流信号的含噪声和滤波后的信号图
- 5V 和 3.3V ADC 参考电压下的噪声级比较

简介

作者：Rupali Honrao, Microchip Technology Inc.

本应用笔记将介绍如何使用 Microchip 8 位 PIC® 单片机 (MCU) 上提供的带计算功能的模数转换器 (ADC²) 中的降噪功能。该 ADC 内置计算功能，可提供过采样、求平均值和低通滤波等后处理功能。内置寄存器有助于消除在处理过采样、求平均值和低通滤波时产生的软件开销。

本应用笔记将使用信号和噪声发生器板来演示 ADC² 在以下模式下实现的噪声抑制：基本模式、累加模式、平均模式、突发平均模式和低通滤波器 (Low Pass Filter, LPF) 模式。每种模式的优缺点也将一并列出。含噪声的信号与滤波后的信号将显示在 *Data Visualizer* 波形图中。此外还给出了用于生成含噪声信号的测试设置建议，以及如何在 *Atmel Studio Data Visualizer* 中显示结果的说明。

可从以下位置获取示例代码，以重现本文中所述的结果：

- MPLAB® Xpress 代码示例：
 - 使用 PIC18F45Q10 的噪声抑制和 ADC² 计算模式：<https://mplabxpress.microchip.com/mplabcloud/example/details/798>

目录

特性.....	1
简介.....	1
1. 噪声抑制理论.....	3
2. ADC ² 计算模式.....	4
3. 为信号添加噪声.....	5
4. 演示噪声抑制.....	6
4.1. 硬件准备工作.....	6
4.2. 软件准备工作.....	6
4.3. 硬件设置.....	6
4.4. 源代码概述.....	7
4.5. 用图表示结果.....	9
5. 5V/3.3V ADC 参考电压下的噪声级比较.....	27
5.1. 使用 3.3V ADC 参考电压时的波形图.....	27
5.2. 使用 5V ADC 参考电压时的波形图.....	28
6. 附录 A: 在 <i>Data Visualizer</i> 中绘图.....	30
7. 版本历史.....	31
Microchip 网站.....	32
产品变更通知服务.....	32
客户支持.....	32
Microchip 器件代码保护功能.....	32
法律声明.....	32
商标.....	33
质量管理体系.....	33
全球销售及服务网点.....	34

1. 噪声抑制理论

许多 MCU 应用涉及测量模拟信号。在完全无噪声信号的理想情况下，只依靠以固定时间间隔触发的单次 ADC 转换就能实现高质量的数字信号。但实际上，大多数模拟信号都受噪声影响，因此您可使用 Microchip 的现代化 ADC 来提高信噪比。

噪声可定义为干扰原始（或所需）信号的不良电信号。降噪（从含噪声的信号中恢复原始信号）是信号处理系统设计的共同目标。

ADC 的每个采样都可能是信号（S）和噪声（N）的组合。噪声抑制是一个降噪的过程，同时对所需信号的影响最小。其中一种实现方法是对含噪声的信号的多采样计算平均值，这样会减少波动并呈现所需信号。

图 1-1 所示为含噪声的信号。单次转换之间的时间间隔会导致数字信号中包含噪声。一种可能的解决方案是在软件中过滤采集的样本，但这需要额外的 CPU 资源。更好的选择是使用 ADC 支持的 ADC 计算模式。

图 1-2 展示了单个 ADC 转换触发如何产生多次连续 ADC 转换的突发。

在累加模式下，每次转换都将累加到硬件中，并且所累加采样的平均值可以通过将累加结果除以突发大小来计算；而在平均模式、突发平均模式和低通滤波器（LPF）模式下，滤波后的结果将保存在内置滤波器寄存器中。由于采样噪声具有零均值，因此平均结果将接近实际信号值。

在这种情况下，通过将 ADC 配置为自动累加 m 个采样，可以使用 ADC 计算模式来求平均值。

在突发平均模式下，ADC 采样率受累加采样数的影响。 m 个采样的总采样时间等于单次采样的采样时间乘以 m （ m 为获取的采样数）。

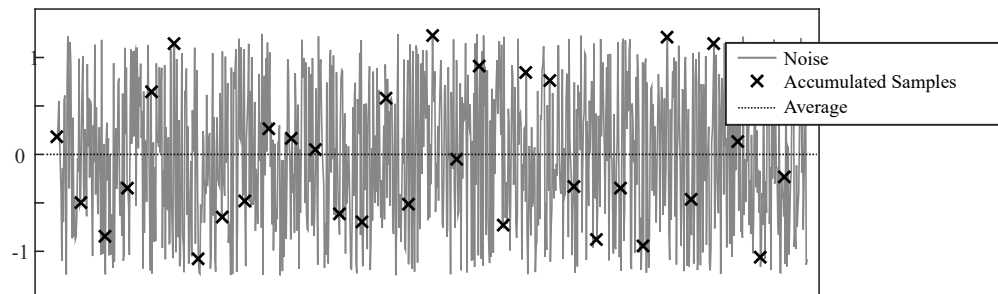
图 1-1 所示为含噪声的信号：混有随机噪声的直流信号。

图 1-1. 混有噪声的直流信号



放大信号后，就可看到如图 1-2 所示的 ADC 采样。该图显示了如何在较短的时间窗口内累加 32 个 ADC 采样。

图 1-2. 获取零均值噪声



各个采样与零相差一个随机值，但具有相同的正负概率。累加的噪声采样将接近零，因此噪声被成功抑制。如果该噪声施加在非零信号上，则累加值将接近该信号的平均值换算后的值。

由于通过多个采样完成过采样，所有采样值的平均结果将近似等于原始直流信号。这意味着它会产生零均值噪声。

增加突发大小（累加更多采样）有助于消除更多峰值信号并实现更明显的噪声抑制效果。

2. ADC² 计算模式

ADC² 模块可在下列五种计算模式之一下工作：

- **基本模式：**在该模式下，可以通过内核手动触发 ADC 转换，也可以由其他外设和外部源自动触发 ADC 转换。累加器逻辑在基本模式下无效，这意味着在整个工作过程中都不会使用累加器（ADACC）和计数（ADCNT）寄存器值，结果寄存器（ADRES）将保持采样的 ADC 结果。阈值误差比较、双采样、连续模式和所有电容分压器（Capacitive Voltage Divider, CVD）功能仍然可用，但不会使用涉及数字滤波器或平均功能的功能。
- **累加模式：**在该模式下，每次触发时，ADC 转换结果都将添加到累加器中，ADCNT 递增以表示累加的采样数。ADCNT 值在 255 个采样时饱和，并且不会计满返回至零。如果 ADACC 寄存器溢出，则状态寄存器（ADSTAT）的累加器溢出位（ADAOV）将置 1。当 ADCNT 达到所需的采样数后，需要立即通过软件将 ADCNT 和 ADACC 寄存器清零，以获取累加的 ADC 采样的正确平均值。通过配置 ADCON2 寄存器的 ADC 累加计算右移选择位（ADCRS）的值，最多可以（通过 CPU）将累加值右移六次。这意味着在每次转换后，都会有效地将累加值除以 2^{ADCRS} 。经过移位的累加值结果存储在 ADFLTR 寄存器中。以下代码举例说明了在要累加的采样数为 32 时，如何使用累加模式计算 ADC 采样的平均值：

```
if(ADC_conversion_result_ready)
{
    if(ADCNT>=32)
    {
        read_average_result = ADCC_GetFilterValue(); //ADCRS needs to be configured to 5 in
ADC_init
        ADCC_ClearAccumulator(); // will clear ADACC and ADCNT
    }
}
```

由于每次 ADC 转换后滤波值都可用，并且其值为累加值除以 32（右移五位），因此，在第 32、64、96...次采样时的平均值将是正确的预期平均值。此时，ADACC 寄存器值是 32 个采样之和，因此将其除以 32 后即可获取平均值（除法意味着 CPU 会自动执行右移，所以只需要读取 ADFLTR 值即可）。所有其他 ADFLTR 值都可以忽略。在第 32 次采样后，需要清零累加器，这将清零 ADACC 寄存器和 ADCNT 的值。

- **平均模式：**该模式与累加模式相似，在该模式下，ADACC 会累加数据采样，ADCNT 随每次采样递增，但在累加的采样数达到 ADC 重复设置寄存器（ADRPT）中配置的值时有所不同。当 ADCNT 等于 ADRPT 时，存储在 ADC 滤波器寄存器（ADFLTR）中的值为输入信号的平均值（ $\text{ADFLTR} = \text{ADACC}/2^{\text{ADCRS}}$ ）。当 ADCNT 超过 ADRPT 值时，CPU 将自动复位 ADCNT 和 ADACC 寄存器以再次累加数据采样。如果阈值中断模式选择位配置为无论阈值测试结果如何都中断（ADCON3 寄存器中的 $\text{ADTMD}[2:0] = 7$ ），则在累加 ADRPT 中所配置数量的采样后，ADTIF 标志将置 1。
- **突发平均模式：**该模式的工作方式与平均模式相似，不同之处在于 CPU 会连续重新触发 ADC 转换，直到 ADCNT 值等于 ADRPT 值，而不是由软件重新使能转换。换句话说，单次 ADC 转换触发时，所有数据采样都将累加到配置的 ADRPT，并且当 ADCNT 与设置的 ADRPT 值匹配时，可以通过将 ADFLTR 值读为 $\text{ADFLTR} = \text{ADACC}/2^{\text{ADCRS}}$ 来获取输入信号的平均值。触发时，CPU 将自动清零累加器 ADACC 和 ADCNT。
- **低通滤波器（LPF）模式：**该模式与平均模式相似，但不是简单的求平均值，而是对所有采样执行低通滤波操作，传送低于其截止频率的信号，并衰减高于其截止频率的信号。ADCRS 位确定低通滤波器的截止频率。

有关 LPF 截止频率计算和其他计算模式的更多详细信息，请参见技术简介：

- TB3146: <http://www.microchip.com/wwwAppNotes/AppNotes.aspx?appnote=en584645>
- TB3194: <http://www.microchip.com/wwwAppNotes/AppNotes.aspx?appnote=en606039>

3. 为信号添加噪声

为了验证 ADC² 功能，可以使用各种方法产生人工噪声，然后将其添加到输入信号中。在此，将使用信号和噪声发生器来生成噪声和验证噪声抑制。该板设计用于生成含噪声或无噪声的模拟信号。有关信号和噪声发生器的更多信息，请参见用户指南：<https://www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails/PartNO/DM080100>

4. 演示噪声抑制

通过使用示例源代码以及在 Data Visualizer 中绘制 ADC 采样波形图来演示噪声抑制。

含噪声的信号作为输入信号提供给 ADC。随后将对此信号进行采样，ADC 结果值将通过 EUSART 发送到 Data Visualizer 的串行终端并在 Data Visualizer 中绘制 ADC 采样波形图。波形图将根据不同的计算模式来绘制，例如基本模式、累加模式、平均模式、突发平均模式和低通滤波器模式。从这些图中可以观察到，当在配置的计算模式下抑制噪声时 ADC 结果计数范围将如何缩小。后续章节将提供详细说明。

4.1 硬件准备工作

本应用笔记中使用的硬件：

- Curiosity 高引脚数（High Pin Count, HPC）开发板（DM164136）
 - <http://www.microchip.com/developmenttools/ProductDetails/PartNo/DM164136>
- PIC18F45Q10 40 引脚单片机（PDIP 封装，适用于 Curiosity HPC）
 - <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F45Q10>
- 功耗调试器（ATPOWERDEBUGGER）
 - <http://www.microchip.com/developmenttools/ProductDetails/PartNo/ATPOWERDEBUGGER>
- 信号和噪声发生器（DM080100）
 - <https://www.microchipdirect.com/product/search/all/DM080100>
- 示波器
- 两根 micro-USB 线缆
- 六根公到公导线

注：

- 示例应用程序使用的是 PIC18F45Q10 器件，不过 Q10 系列中的任何器件都可以用于创建应用程序
 - <https://www.microchip.com/promo/pic18f-q10-product-family>
- 硬件设置介绍了如何使用信号和噪声发生器板，但也可以使用任何含噪声或无噪声的信号

4.2 软件准备工作

本应用笔记中使用的软件：

- MPLAB X IDE v.5.10
 - <http://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide>
- MPLAB XC8 C 编译器 v.2.00
 - <http://www.microchip.com/mplab/compilers>
- MCC PIC10/PIC12/PIC16/PIC18 库 v1.75
 - <https://www.microchip.com/mplab/mplab-code-configurator>
- Data Visualizer v.2.18.663
 - <https://www.microchip.com/mplab/avr-support/data-visualizer>
- 使用 PIC18F45Q10.X 源代码的噪声抑制和 ADCC 计算模式
 - <https://mplabxpress.microchip.com/mplabcloud/example/details/798>
- Data Streamer 配置文件（包含在源代码中）：*noise_suppression_data_streamer.txt*

4.3 硬件设置

- Curiosity 高引脚数（HPC）开发板（DM164136）用作测试平台。开关 S1 和 S2 用于选择 ADC² 模式，LED D2、D3、D4 和 D5 用于显示当前处于哪种模式。
- 信号和噪声发生器板生成的信号连接到 HPC 的模拟输入（RA1）。

- 功耗调试器包括一个 CDC 虚拟 COM 端口接口，用于通过 EUSART 将 ADC² 的转换结果发送到 Data Visualizer 所在的 PC 上。HPC 的 EUSART TX（引脚 RC6）连接到功耗调试器的 CDC “TX ←” 引脚。
- HPC 使用 USB 电源（通过跳线配置为 3.3V VCC）。

硬件设置：Curiosity HPC 与功耗调试器和信号和噪声发生器板相连

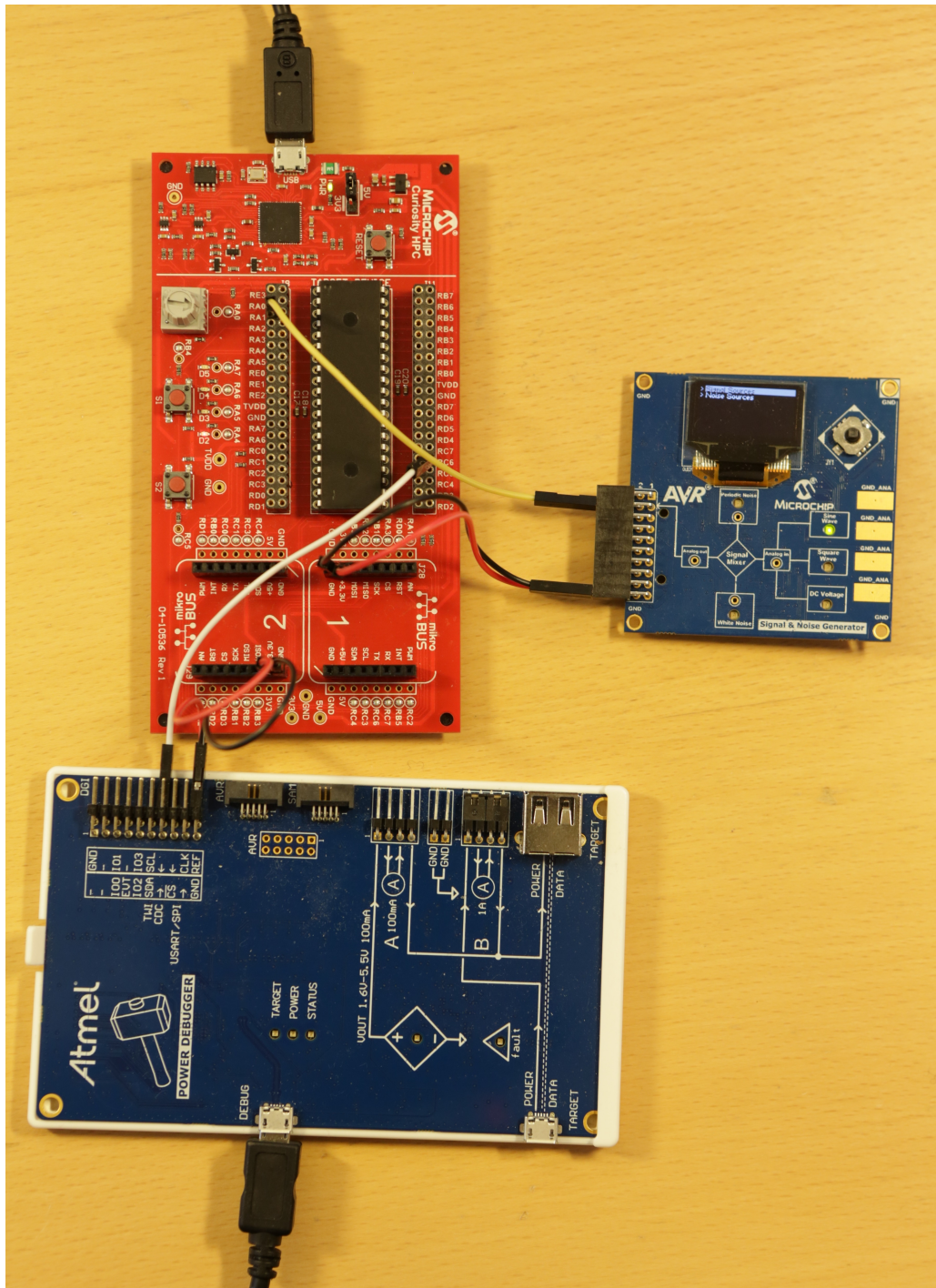


表 4-1. 硬件连接 HPC——与信号和噪声发生器

HPC	信号和噪声发生器	
引脚	引脚编号	名称
RA1	3	ADC (+)
GND	19	GND
3V3	20	VCC

表 4-2. 硬件连接 HPC——与功耗调试器

HPC	功耗调试器 (DGI 端口)	
引脚	引脚编号	名称
RC6	14	TX ←
GND	19	GND
3V3	20	VCC

4.4 源代码概述

使用 PIC MCU Q10 的源代码概述

- CPU 时钟: 32 MHz
- 使用的外设:
 - ADC²
 - ADC 输入通道为 AIN1: 引脚 RA1
 - ADC 参考电压: V_{DD}
 - ADC 时钟: 1 MHz ($F_{osc}/32$)
 - 单次采样的 ADC 转换时间: 11.5 μ s
 - EUSART
 - TX 引脚 RC6
 - 波特率: 500000, ADC 结果发送到串行终端
 - TMR0:
 - Timer0 配置为具有 625 μ s (1.6 kHz 采样频率) 触发周期, ADC 在自动转换触发时使用该周期。
 - GPIO
 - 引脚 RB4: 开关 S1, 用于上调 ADCC 模式
 - 引脚 RC5: 开关 S2, 用于下调 ADCC 模式
 - 引脚 RA4: LED D2
 - 引脚 RA5: LED D3

- 引脚 RA6: LED D4
- 引脚 RA7: LED D5
- 除了 MCC 驱动程序生成的函数之外, 示例应用程序中还使用了 ADC² 函数

表 4-3. ADC² 函数 (不包括 MCC 驱动程序生成的函数)

函数名称	文件	用途
void ADCC_ComputationModeSetup(uint8_t)	main.c	调用模式特定 ADC ² 初始化函数
void ADCC_InitializeBasicMode(void)	adcc.c	将 ADC ² 初始化为基本模式
void ADCC_InitializeAccumulateMode(void)	adcc.c	将 ADC ² 初始化为累加模式
void ADCC_InitializeAverageMode(void)	adcc.c	将 ADC ² 初始化为平均模式
void ADCC_InitializeBurstAverageMode(void)	adcc.c	将 ADC ² 初始化为突发平均模式
void ADCC_InitializeLPFMode(void)	adcc.c	将 ADC ² 初始化为 LPF 模式
void ADCC_SetChannel(adcc_channel_t)	adcc.c	配置 ADC ² 通道
void ADCC_ProcessResult(void)	main.c	读取并处理 ADC ² 结果
void DataStreamerTxPkt(pkt_t *)	data_streamer.c	使用帧起始 (SOF)、ADC ² 模式和帧结束 (EOF) 初始化数据流包
void DataStreamerInit(pkt_t *)	data_streamer.c	通过 EUSART 发送数据流包
void CheckButtonPress(void)	main.c	读取按钮 S1 和 S2 的状态

表 4-4. 计算模式: 相关编号和 LED

计算模式	Data Visualizer 中的计算模式编号	点亮 LED
基本模式	1	所有 LED: D2、D3、D4 和 D5
累加模式	2	D2
平均模式	3	D3
突发平均模式	4	D4
LPF 模式	5	D5

ADC² 在项目文件夹中的 *adcc.c* 内进行配置。以下是该应用程序中使用的 *adcc.c* 内定义的模式特定函数。

```
void ADCC_InitializeBasicMode(void);
void ADCC_InitializeAccumulateMode(void);
void ADCC_InitializeAverageMode(void);
void ADCC_InitializeBurstAverageMode(void);
void ADCC_InitializeLPFMode(void);
```

注: 在 *adcc.c* 中, ADCC_Initialize() 函数是驱动程序生成的函数, 该函数会在 SYSTEM_Initialize() 中作为标准驱动程序初始化的一部分被调用。

上电后的默认模式为基本模式, 该模式将调用配置为基本模式的初始化程序 ADCC_InitializeBasicMode()。计算模式编号将配置为 1, 以在 *Data Visualizer* 中表示该模式, 所有 LED 均点亮。按下 S1 按钮时, 计算模式将上调, 并将以所选模式初始化 ADC。根据所选的计算模式, 将会点亮不同的 LED。计算模式和相关计算模式编号以及 LED 点亮情况如表 4-4 所示。

已在 ADCON3 寄存器中配置为无论阈值测试结果如何都中断 (ADTMD[2:0] = 7)。当 ADC 结果就绪后, ADTIF 标志将置 1, ADC 结果和所选计算模式编号将通过 EUSART 发送到 Data Visualizer。

在基本和累加模式下, 每次 ADC 转换时 ADTIF 标志都置 1。在平均、突发平均和 LPF 模式下, 该标志将在累加配置的 *n* 个采样后置 1。在本示例源代码中, 该标志将在累加 32 个采样后置 1 (因为 ADCRS 配置为 5)。

4.5 用图表示结果

将通过在 *Data Visualizer* 中绘制不同的图以及配置高级 ADC 功能来显示结果。此处的波形图将根据不同的 ADC² 计算模式来绘制。使用 ADC 结果和 ADC 滤波结果寄存器，可以在同一张图中观察含噪声的信号和滤波后的信号。

此外，还将绘制单独的波形图来指示所选的 ADC 计算模式。

从这些图中可以观察到，当使用配置的 ADC 功能抑制噪声时 ADC 结果计数范围将如何缩小。

注：

- 完成 4.3 硬件设置主题中所示的硬件设置
- 使用示例源代码对器件 PIC Q10 进行编程
- 如果不使用信号和噪声发生器板，则可以将任何含噪声或无噪声的信号连接到 HPC 板上的引脚 RA1
- 有关如何在 *Data Visualizer* 中绘制图的更多详细信息，请参见 6. 附录 A: 在 *Data Visualizer* 中绘图

4.5.1 图：基本模式

4.5.1.1 无噪声的直流信号

任务：使用无噪声的直流信号在 *Data Visualizer* 中绘图。

- ADC² 计算模式：基本模式
- 输入信号：约 1V 直流信号，不添加人工噪声

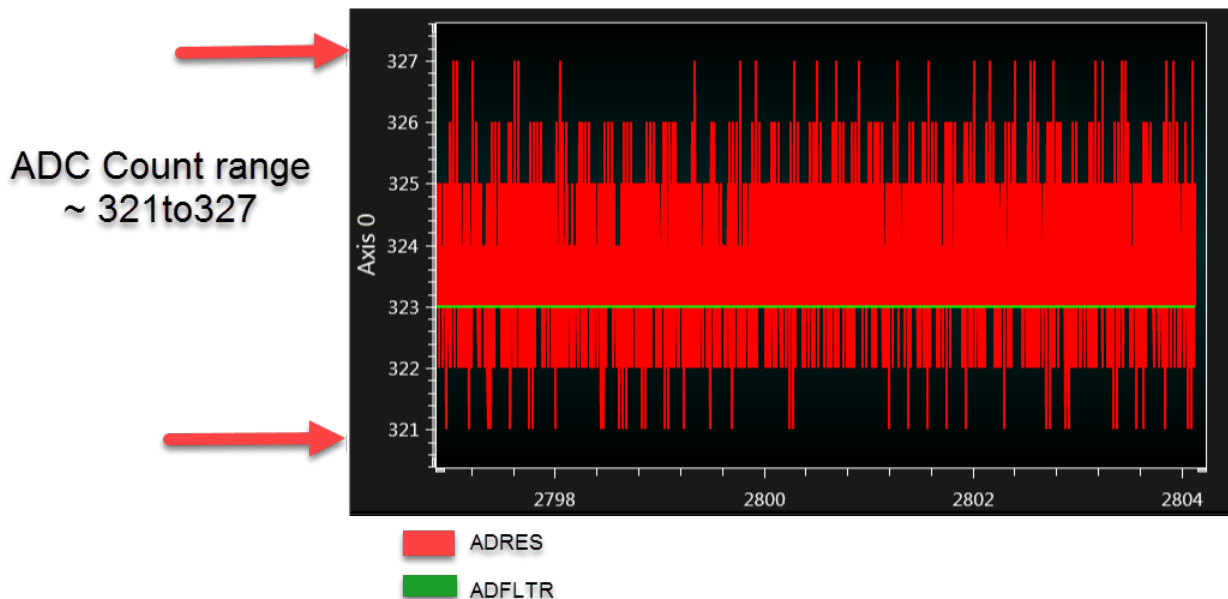
测试设置：

- 将 HPC 板上的 VDD 配置为 3.3V
- 将信号和噪声发生器板配置为生成约 1V 直流信号
- 使用示波器验证输入信号
- 验证 LED D2、D3、D4 和 D5 是否点亮

输入信号连接到 ADC 输入引脚 RA1，并在 *Data Visualizer* 中绘制波形图，如图 4-1 所示。红色信号是 ADC 输入信号（ADRES 值），绿色信号是使用简单的平均技术滤波后的信号。

注：虽然没有向输入信号中添加任何人工噪声，但是由于输入信号的 ADC 计数值介于 321 和 327 之间，因此仍存在一些系统噪声并会显示在波形图中。结果可能因设置而异。

图 4-1. 未添加人工噪声的直流信号

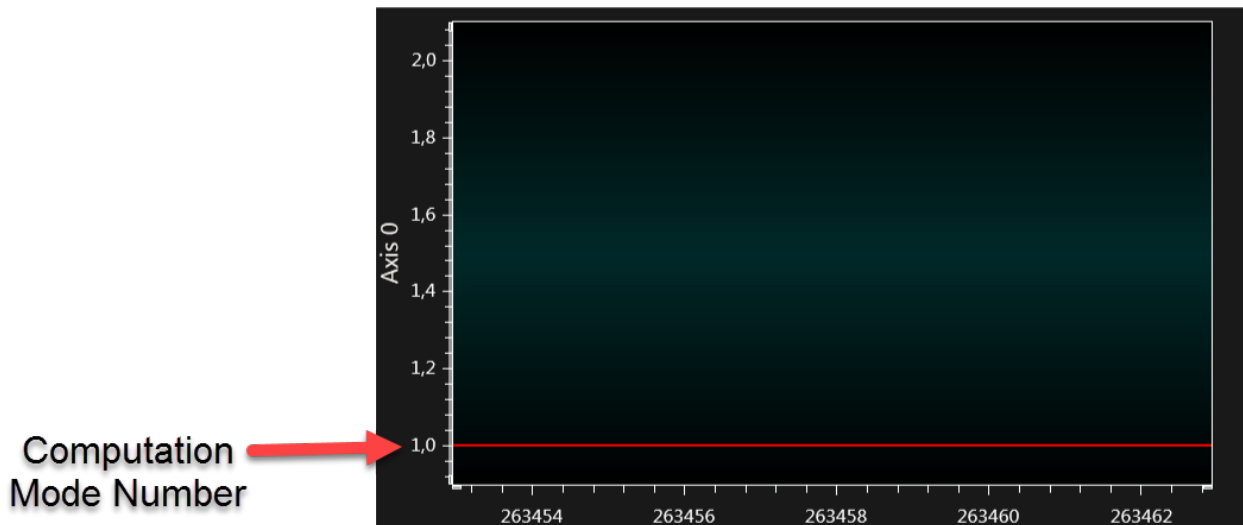


从图中可以看出，ADC 滤波后的信号显示 ADC 计数为 323。在基本模式下，可使用软件通过代码对 32 个采样求平均值来获得滤波结果。

注： 在这种情况下，测试设置测量的是 DC 1.06V。ADC 参考电压为 $V_{DD} = 3.3V$ ，ADC 分辨率为 10 位。理想情况下，测得的 ADC 计数应为 $(1023 \times 1.06)/3.3 = 328$ 。

基本模式的 ADC² 计算模式编号为 1，如图 4-2 中给出的 *Data Visualizer* 波形图所示。

图 4-2. 计算模式编号



4.5.1.2 具有随机噪声的直流信号

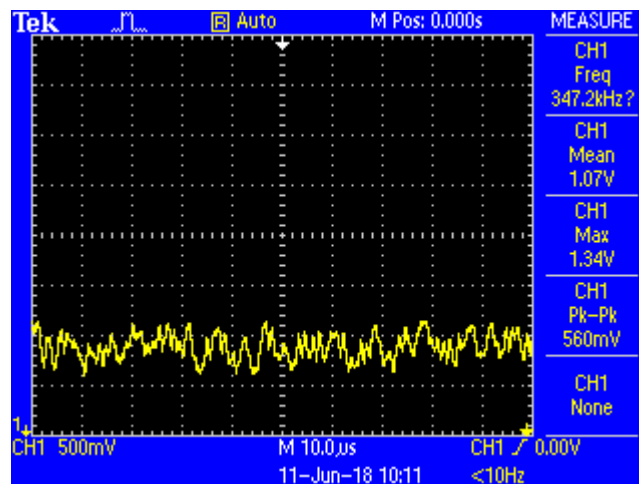
任务： 使用具有随机噪声的直流信号在 *Data Visualizer* 中绘图，并观察噪声抑制效果。

- ADC² 计算模式：基本模式
- 输入信号：约 1V 直流信号 + 0.5V 峰-峰值随机噪声

测试设置：

- 验证 LED D2、D3、D4 和 D5 是否点亮
- 将信号和噪声发生器板配置为生成具有 0.5V 峰-峰值随机噪声的约 1V 直流信号
- 使用示波器验证输入信号。预期结果如下所示。

图 4-3. 具有随机噪声的信号的示波器截图

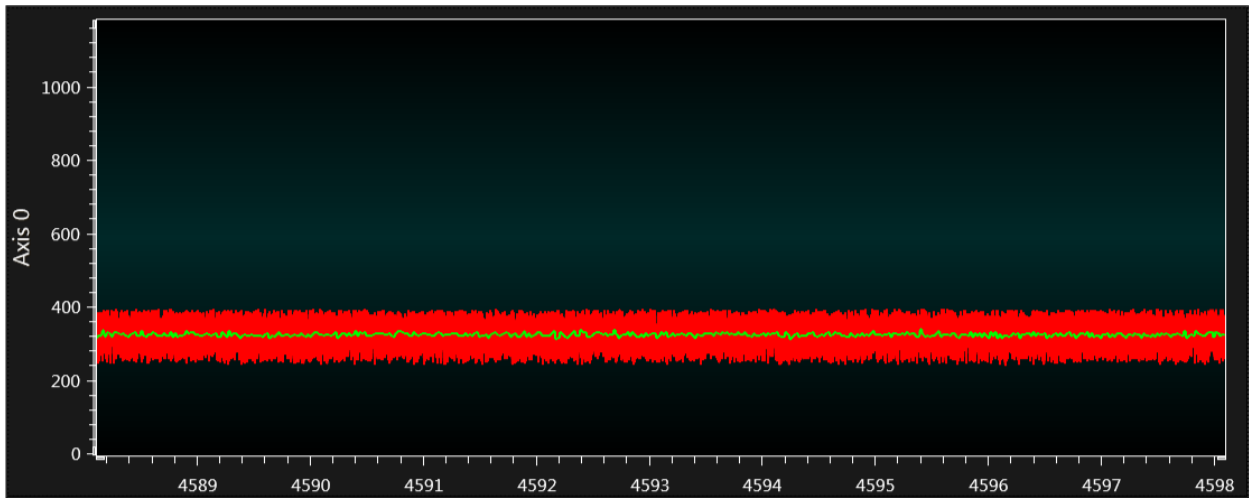


注： 图 4-3 显示了直流偏移随机噪声信号。直流偏移约为 1V，噪声峰-峰值幅值接近 500 mV。

Data Visualizer 波形图如图 4-4 所示。红色信号是含噪声的输入信号（ADRES 值），绿色信号是使用软件通过代码对 32 个采样求平均值后获得的滤波信号。

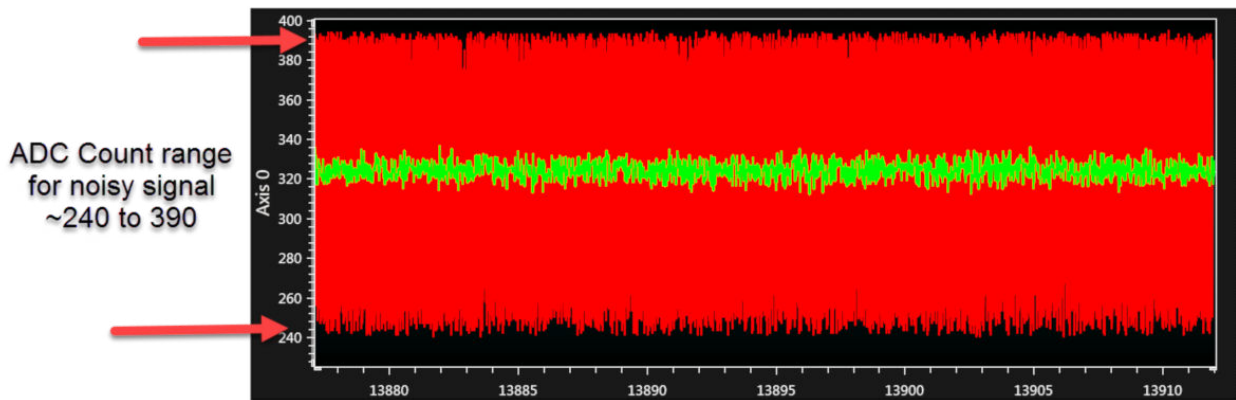
从图中可以看出，使用简单的平均技术可以抑制噪声。在示例源代码中，对 32 个采样进行了求平均值。

图 4-4. 具有随机噪声的直流信号



如果放大信号，则图像如图 4-5 所示。

图 4-5. 放大后的具有随机噪声的直流信号

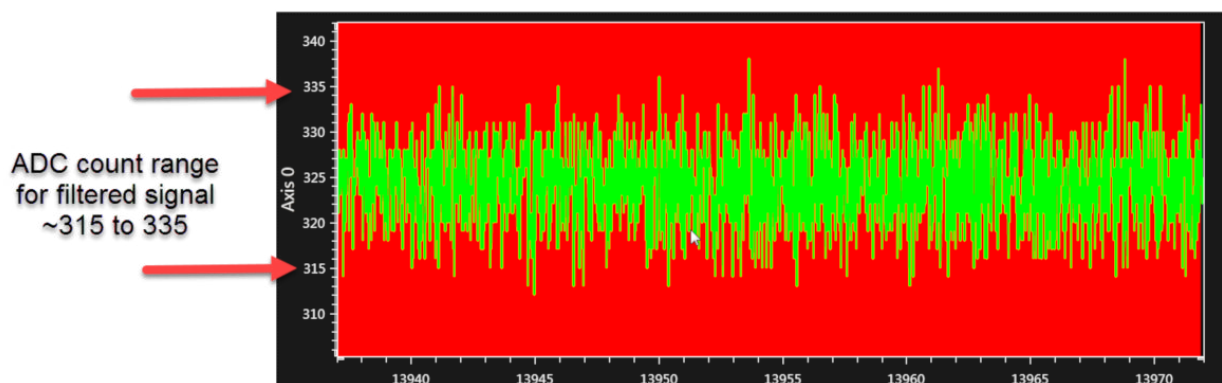


从图中可以看出，受随机噪声的影响，含噪声的信号 ADC 计数介于大约 240 和 390 之间。这意味着 ADC 计数在 ± 75 之内变化（390 到 240 \rightarrow 315 ± 75 个计数）。

注： 图中所示的信号是含噪声的直流信号。实际的信号电压可能因电路板而异，但是预期结果将与所示结果类似。在该图中，结果介于 240 和 390 个 ADC 计数之间，噪声级估计为 150 个 ADC 计数峰-峰值。

如果进一步放大信号，则图像如图 4-6 所示。

图 4-6. 经过进一步放大的具有随机噪声的直流信号



可以看出滤波后的信号的 ADC 计数介于大约 315 和 335 之间。这意味着 ADC 计数在 ± 10 之内变化（335 到 315 \rightarrow 325 ± 10 个计数）。

优点：使用该模式时，用于求平均值的累加采样数不受限制，而其他 ADC² 模式则限制为 64 个。

注：理想情况下，使用 10 位 ADC 和 16 位变量进行采样累加，在累加 64 个采样 ($65535/1023 = 64$) 后将发生溢出。

缺点：需要在代码中处理累加和求平均值，即存在软件开销。

4.5.2 图：累加模式

4.5.2.1 具有随机噪声的直流信号

任务：使用具有随机噪声的直流信号在 *Data Visualizer* 中绘图，并观察噪声抑制效果。

- ADC² 计算模式：累加模式
- 输入信号：约 1V 直流信号 + 0.5V 峰-峰值随机噪声

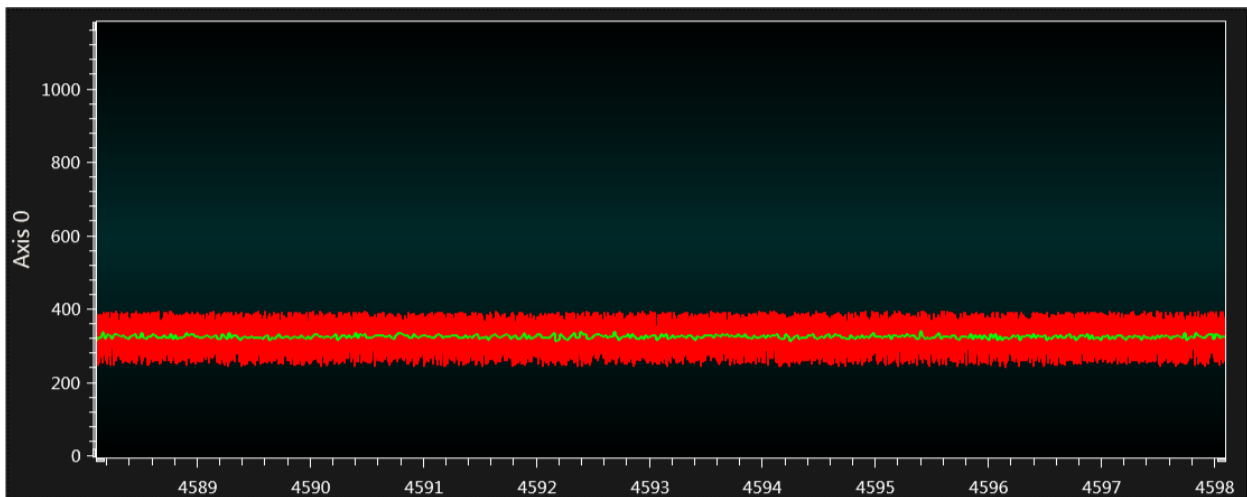
测试设置：

- 按下 HPC 板上的按钮 S1
- 验证 *Data Visualizer* 波形图中的计算模式编号是否为 2
- 验证 LED D2 是否点亮
- 将信号和噪声发生器板配置为生成具有 0.5V 峰-峰值随机噪声的约 1V 直流信号
- 使用示波器验证输入信号

Data Visualizer 波形图如图 4-7 所示。红色信号是含噪声的输入信号（ADRES 值），绿色信号是滤波后的信号（ADFLTR 值）。

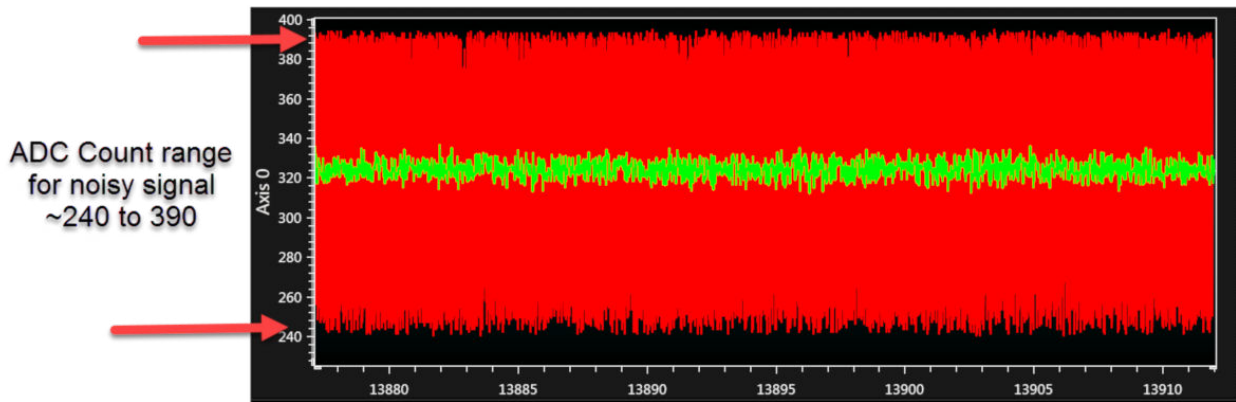
从图中可以看出，使用 ADC² 累加模式可以抑制噪声。在示例源代码中，ADCRS 位配置为 5。这意味着对 32 个采样求平均值。该波形图与基本模式的波形图相似。这种模式的优势在于可以使用 ADACC 和 ADFLTR 寄存器，因此无需通过代码进行采样累加和求平均值。

图 4-7. 具有随机噪声的直流信号



如果放大信号，则图像如图 4-8 所示。

图 4-8. 放大后的具有随机噪声的直流信号



从图中可以看出，受随机噪声的影响，含噪声的信号（红色信号）的 ADC 计数介于 240 和 390 之间。这意味着 ADC 计数在 ± 75 之内变化（390 到 240 $\rightarrow 315 \pm 75$ 个计数）。

可以看出滤波后的信号（绿色信号）的 ADC 计数介于 315 和 335 之间。这意味着 ADC 计数在 ± 10 之内变化（335 到 315 $\rightarrow 325 \pm 10$ 个计数）。

优点：使用该模式，ADACC 寄存器可提供最多 64 个采样的累加值，ADFLTR 寄存器可提供所有累加采样的平均值，从而避免了软件开销。

缺点：需要通过代码来确定采样累加数及清零 ADACC 寄存器。

4.5.3 图：平均模式

4.5.3.1 无噪声的交流信号

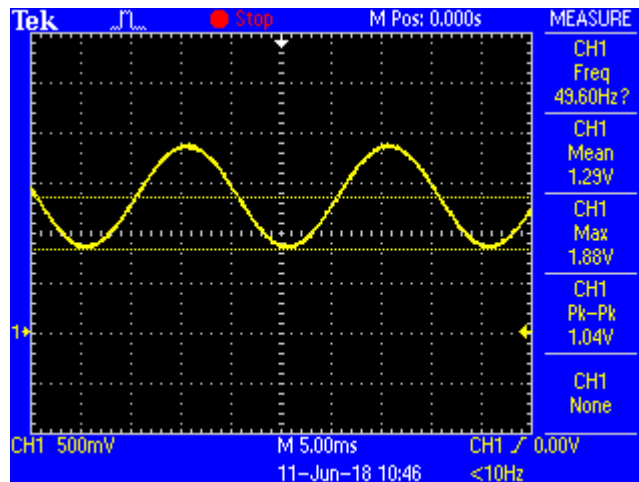
任务：使用无噪声的交流信号在 *Data Visualizer* 中绘图，并观察整个周期内给定输入信号的平均值。

- ADC² 计算模式：平均模式
- 输入信号：1V 峰-峰值、50 Hz 频率和 1.25V 偏移量的交流信号

测试设置：

- 按下 HPC 板上的按钮 S1
- 验证 *Data Visualizer* 波形图中的计算模式编号是否为 3
- 验证 LED D3 是否点亮
- 将信号和噪声发生器配置为生成约 1V 幅值、50 Hz 频率和 1.25V 偏移量的正弦波
- 禁止随机噪声
- 使用示波器验证输入信号。预期结果如图 4-9 所示

图 4-9. 交流信号的示波器截图



Data Visualizer 波形图如图 4-10 所示。红色信号是交流输入信号（ADRES 值），绿色信号是滤波后的信号（ADFLTR 值）。

两半部分完全相同的周期性波形（正弦或非正弦）的平均电压是一个完整周期内 V_{MAX} 和 V_{MIN} 的平均值。

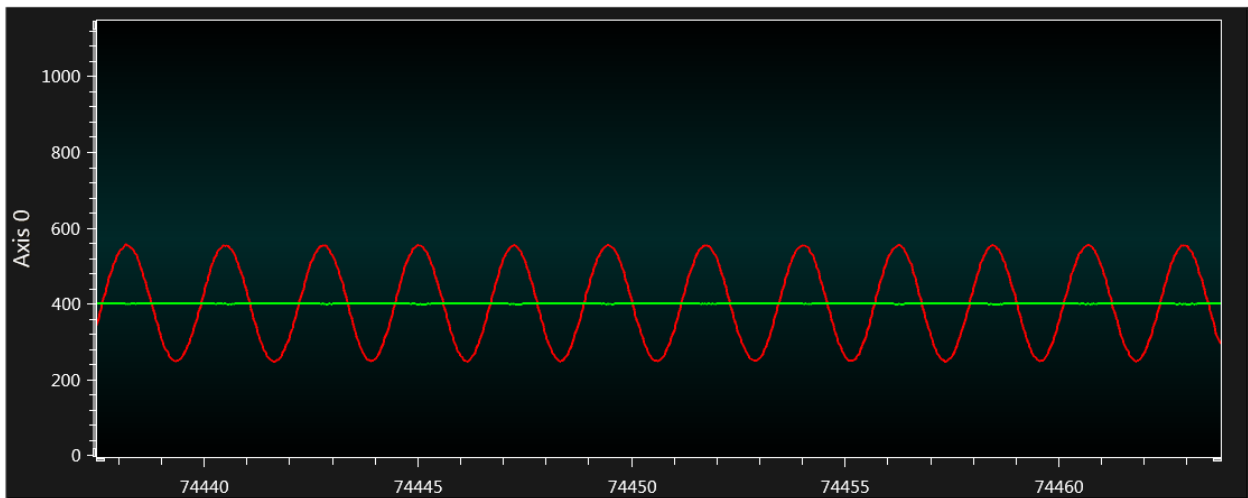
正弦波关于时间轴对称，因此平均值为零：正负区域抵消。

从图 4-10 中可以看出，交流信号的平均结果接近偏移值。在示例源代码中，由于 ADCRS 位配置为 5，因此对 32 个采样进行了求平均值，ADC 自动转换触发每 625 μ s 发生一次。这种模式的优势在于可以使用 ADACC 和 ADFLTR 寄存器，因此无需通过代码进行采样累加和求平均值。

交流信号的平均值计算取决于一个周期内累加的等距采样数和采样频率以及输入信号的频率。

要在整个周期内对 50 Hz（20 ms）信号的 32 个等距采样计算正确平均值，采样频率应为 $20\text{ ms}/32 = 625\ \mu\text{s}$ （1.6 kHz）。

图 4-10. 50 Hz 交流信号



由于输入正弦信号的偏移量为 1.29V，因此正弦信号的平均值是 ADC 计数为 400 时的偏移量（ $1023 \times 1.29/3.3 = 399$ ）。

优点：使用该模式，ADACC 寄存器可提供最多 64 个采样的累加值，ADFLTR 寄存器可提供所有累加采样的平均值，从而避免了软件开销。

缺点：累加采样数限制为 64。

4.5.3.2 具有随机噪声的交流信号

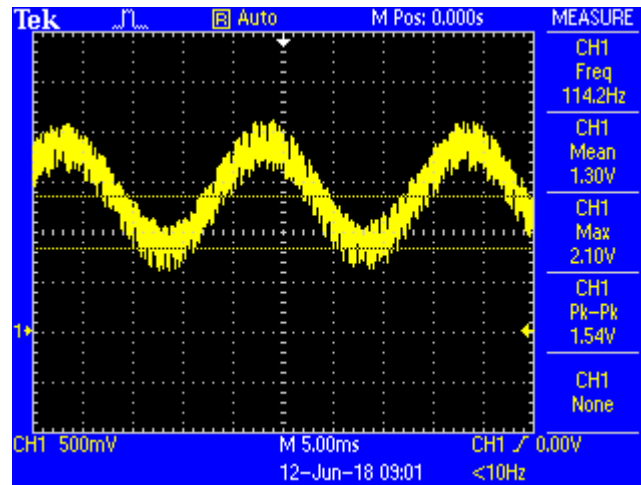
任务：使用具有随机噪声的交流信号在 *Data Visualizer* 中绘图，并观察整个周期内给定输入信号的平均值。

- ADC² 计算模式：平均模式
- 输入信号：1V 峰-峰值、50 Hz 频率和 1.25V 偏移量的交流信号 + 0.5V 峰-峰值随机噪声

测试设置：

- 验证 *Data Visualizer* 波形图中的计算模式编号是否为 3
- 验证 LED D3 是否点亮
- 将信号和噪声发生器配置为生成约 1V 幅值、50 Hz 频率和 1.25V 偏移量的交流信号
- 使能峰-峰值为 0.5V 的随机噪声
- 使用示波器验证输入信号。预期结果如图 4-11 所示。

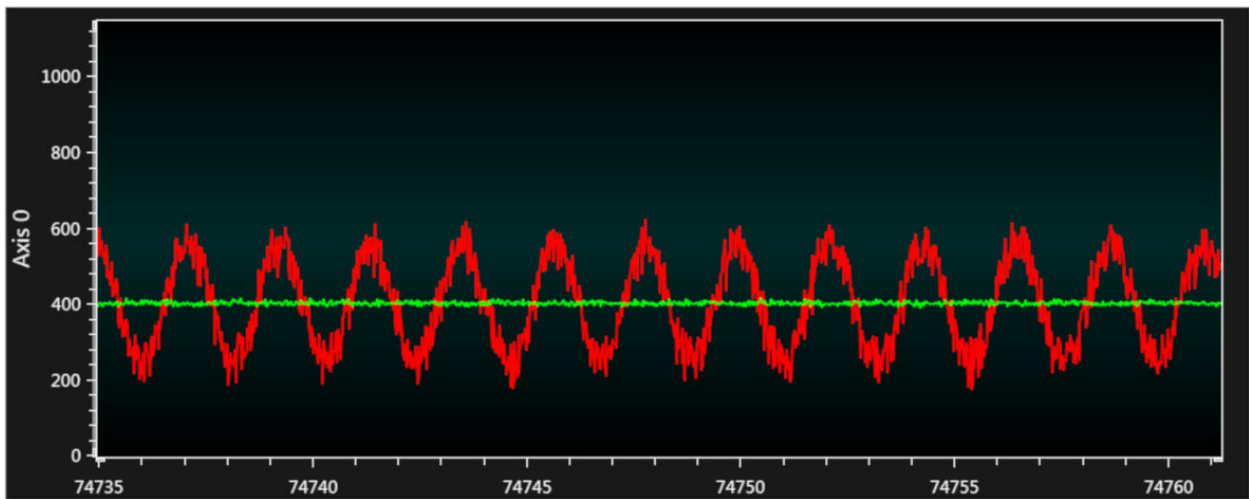
图 4-11. 具有随机噪声的交流信号的示波器截图



Data Visualizer 波形图如图 4-12 所示。红色信号是交流输入信号（ADRES 值），绿色信号是滤波后的信号（ADFLTR 值）。

从图中可以看出，含噪声的交流信号的平均结果接近偏移值。

图 4-12. 50 Hz 交流信号



可以看出，含噪声的正弦信号（绿色信号）的平均值介于约 390 和 410 之间。

注： 通过调整波形图的 Y 轴可以清晰地观察绘制信号，从而验证这一点。

- 单击波形图并按住 **Ctrl** 键，然后滚动鼠标滚轮

从图 4-10 中可以看出，无噪声的交流信号的平均值约为 400。通过对比图 4-12 和图 4-10 可以看出，含噪声交流信号的平均值接近无噪声交流信号的平均值，使用 ADC^2 平均模式可以更容易地计算出含噪声交流信号的平均值。

4.5.3.3 具有随机噪声的直流信号

任务： 使用具有随机噪声的直流信号在 *Data Visualizer* 中绘图，并观察噪声抑制效果。

- ADC^2 计算模式：平均模式
- 输入信号：约 1V 直流信号 + 0.5V 峰-峰值随机噪声

测试设置：

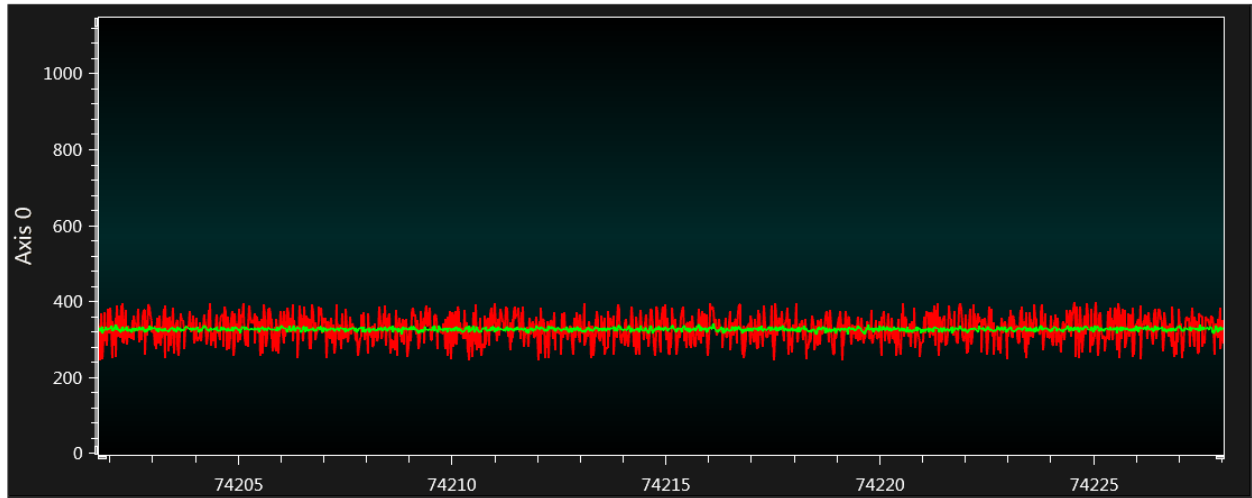
- 验证 *Data Visualizer* 波形图中的计算模式编号是否为 3
- 验证 LED D3 是否点亮
- 将信号和噪声发生器板配置为生成具有 0.5V 峰-峰值随机噪声的约 1V 直流信号

- 使用示波器验证输入信号

Data Visualizer 波形图如图 4-13 所示。红色信号是含噪声的输入信号（ADRES 值），绿色信号是滤波后的信号（ADFLTR 值）。

从图中可以看出，使用 ADC² 平均模式可以抑制噪声。在示例源代码中，ADCRS 位配置为 5，因此将对 32 个采样求平均值。该波形图与基本模式（图 4-4）和累加模式（图 4-7）的波形图相似。这种模式的优势在于可以使用 ADACC 和 ADFLTR 寄存器，因此无需通过代码进行采样累加和求平均值。

图 4-13. 具有随机噪声的直流信号



4.5.4 图：突发平均模式

4.5.4.1 具有随机噪声的交流信号

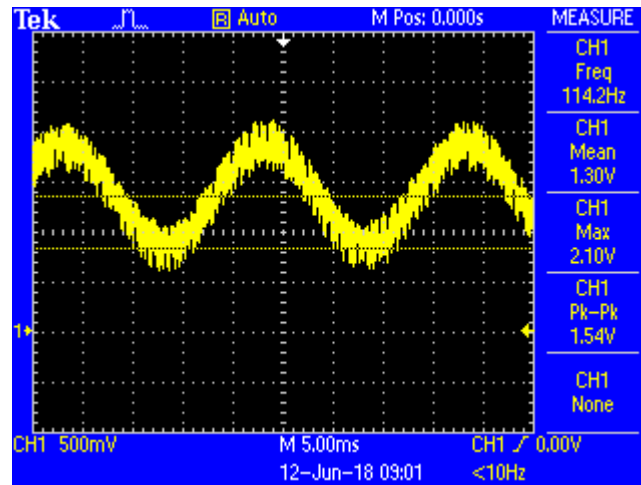
任务：使用具有随机噪声的交流信号在 *Data Visualizer* 中绘图，并观察交流信号中的噪声抑制效果。

- ADC² 计算模式：突发平均模式
- 输入信号：1V 峰-峰值、50 Hz 频率和 1.25V 偏移量的交流信号 + 0.5V 峰-峰值随机噪声

测试设置：

- 按下 HPC 板上的按钮 S1
- 验证 *Data Visualizer* 波形图中的计算模式编号是否为 4
- 验证 LED D4 是否点亮
- 将信号和噪声发生器配置为生成约 1V 幅值、50 Hz 频率和 1.25V 偏移量的交流信号
- 使能峰-峰值为 0.5V 的随机噪声
- 使用示波器验证输入信号。预期结果如 图 4-14

图 4-14. 具有随机噪声的交流信号的示波器截图



Data Visualizer 波形图如图 4-15 所示。红色信号是交流输入信号（ADRES 值），绿色信号是滤波后的信号（ADFLTR 值）。

从图中可以看出，噪声已从含噪声的输入信号中移除，相对干净的交流信号如图 4-15 所示。

在该模式下，单次 ADC 转换触发时，将累加所有数据采样直到配置的采样数，并且在累加所有采样后，可以通过读取 ADFLTR 值获得累加采样的平均值，从而实现给定输入交流信号的噪声抑制。

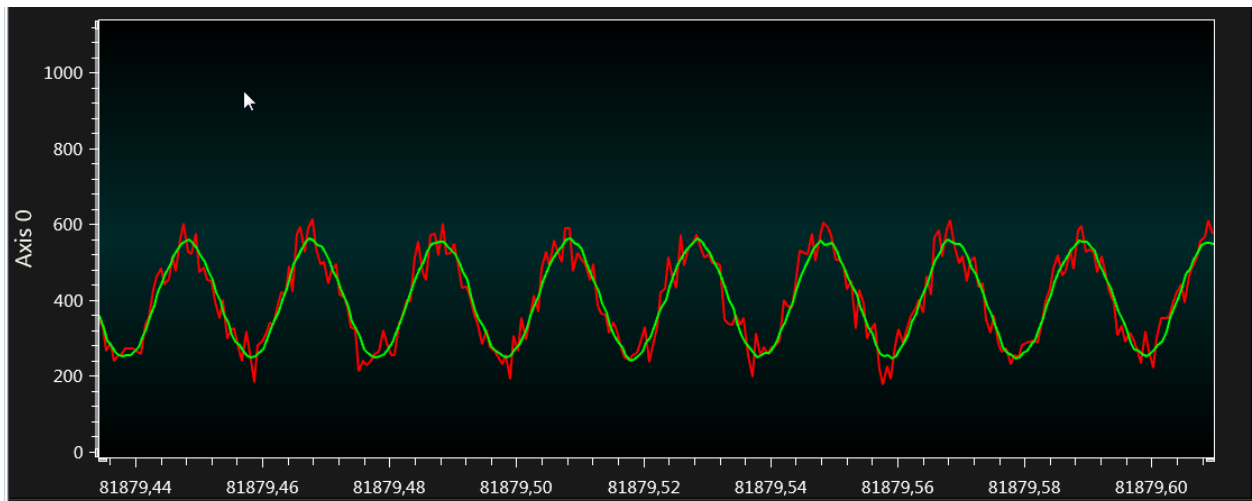
在本应用中，单个采样的 ADC 转换时间配置为 11.5 μs 。因此，对于 32 个采样的突发，总转换时间为 $11.5 \times 32 = 368 \mu\text{s}$ 。这意味着可以使用该模式将 32 个采样的最大采样率配置为 2.7 kHz（ $1/368 \mu\text{s}$ ）。

对于 64 个采样的突发，可以实现的最大采样率为 1.3 kHz（ $1/736 \mu\text{s}$ ）。

突发平均模式有助于消除交流信号中的噪声，从而显示干净的交流信号。

注： 在示例源代码中，采样率配置为 1.6 kHz（ $1/625 \mu\text{s}$ ）。

图 4-15. 50 Hz 交流信号



优点： 使用突发平均模式可以实现对交流信号的噪声抑制。

缺点：

- 采样累加限制为 64 个采样
- ADC 采样率受单次突发中累加采样数的影响。 m 个采样的总转换时间等于单个采样的转换时间乘以 m （采样数）。

4.5.4.2 具有随机噪声的直流信号

任务：使用具有随机噪声的直流信号在 *Data Visualizer* 中绘图，并观察噪声抑制效果。

- ADC² 计算模式：突发平均模式
- 输入信号：约 1V 直流信号 + 0.5V 峰-峰值随机噪声

测试设置：

- 验证 *Data Visualizer* 波形图中的计算模式编号是否显示为 4 以及 LED D4 是否点亮
- 将信号和噪声发生器配置为生成具有 0.5V 峰-峰值随机噪声的约 1V 直流信号
- 使用示波器验证输入信号

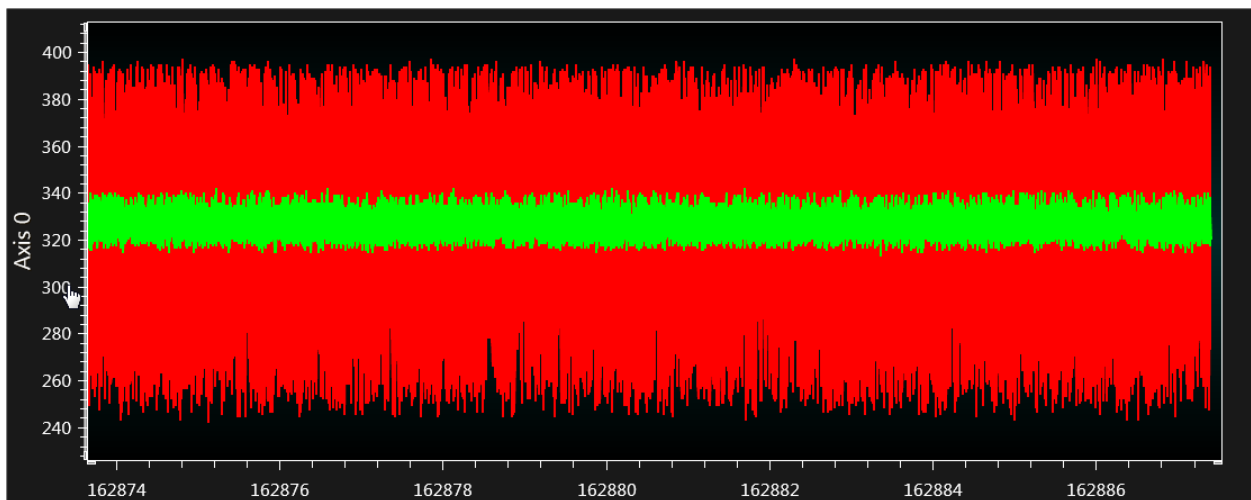
Data Visualizer 波形图如图 4-16 所示。红色信号是含噪声的输入信号（ADRES 值），绿色信号是滤波后的信号（ADFLTR 值）。

从图中可以看出，使用 ADC² 突发平均模式可以抑制噪声。在示例源代码中，由于 ADCRS 位配置为 5，因此对 32 个采样进行了求平均值。该波形图与基本模式、累加模式和平均模式的波形图相似，其中滤波后的信号（绿色信号）的 ADC 计数介于约 315 和 340 之间。

在突发平均模式下，ADC 计数相较于在其他模式下的变化会更加随机。在该模式下会突发累加采样。这意味着触发转换后，将立即连续读取 ADC 采样，直到收集到 32 个采样为止。因此，噪声滤波效果可能不如其他模式有效。

用例：该模式对于输入信号相对无噪声并且需要通过过采样来提高 ADC 分辨率的应用会很有用。

图 4-16. 具有随机噪声的直流信号



优点：使用该模式，ADACC 寄存器可提供最多 64 个采样的累加值，ADFLTR 寄存器可提供单次突发中所有累加采样的平均值。这样可以避免软件开销。

缺点：

- 累加采样数限制为 64
- 与基本、累加和平均模式相比，降噪效果相对较差
- ADC 采样率受单次突发中累加采样数的影响。 m 个采样的总转换时间等于单个采样的转换时间乘以 m （采样数）。在本示例中，ADC 转换时间配置为 $11.5 \mu\text{s}$ 。因此，对于 32 个采样的突发，总转换时间为 $11.5 \times 32 = 368 \mu\text{s}$

4.5.5 图：LPF 模式

4.5.5.1 低通滤波器工作原理

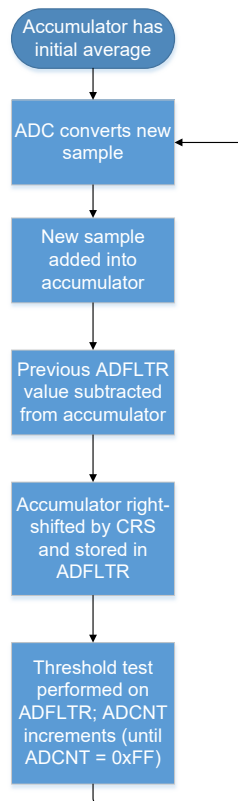
LPF 可视为具有两个连续工作的主要过程：首先是初始求平均值过程，然后是连续滤波操作。

初始求平均值过程从累加采样开始，直到 ADC 计数寄存器（ADCNT）等于 ADRPT 寄存器。在该初始累加过程中，每个新采样都会添加到累加器中。之后，累加器会根据 ADCON2 寄存器的 ADC 累加计算右移选择（CRS<2:0>）位的值将新采样的当前值右移（即，除以该位的值）。新的右移值将出现在 ADFLTR 寄存器中。当 ADCNT = ADRPT 时，将对 ADFLTR 值执行阈值比较测试。在该初始求平均值过程中，ADRPT 值用作 RC 时间常数，以便计算出的平均

值在执行阈值比较之前达到稳定状态。这样可以防止在确定平均值之前对每个采样都进行阈值测试，从而减少因单个采样的随机变化所导致的“误报”阈值违例。

初始求平均值过程完成后，模块将进入连续滤波操作。下图说明了连续滤波操作期间发生的情况。

图 4-17. 连续滤波操作流程



公式 4-1 使用数学术语说明了 ADFLTR 计算。需要注意的是，在初始求平均值过程或任何后续转换之后，累加器都不会清零，而是继续累加采样，直到软件禁止模块。在连续滤波操作期间，ADRPT 将被忽略，ADCNT 继续计数直到 ADCNT = 0xFF（达到 0xFF 后 ADCNT 被忽略），CRS 值继续用作累加器除数。

公式 4-1. LPF 模式下的 ADFLTR 计算

$$ADFLTR = \frac{ACC_{NEW}}{2^{ADCRS}}$$

其中：

$$ACC_{NEW} = (ACC_{PREV} + ADRES) - \frac{ACC_{PREV}}{2^{ADCRS}}$$

ACC_{PREV}——先前的累加器结果

ADRES——当前转换结果

4.5.5.2 具有随机噪声的直流信号

任务：使用具有随机噪声的直流信号在 *Data Visualizer* 中绘图，并观察噪声抑制效果。

- ADC² 计算模式：LPF 模式
- 输入信号：约 1V 直流信号 + 0.5V 峰-峰值随机噪声

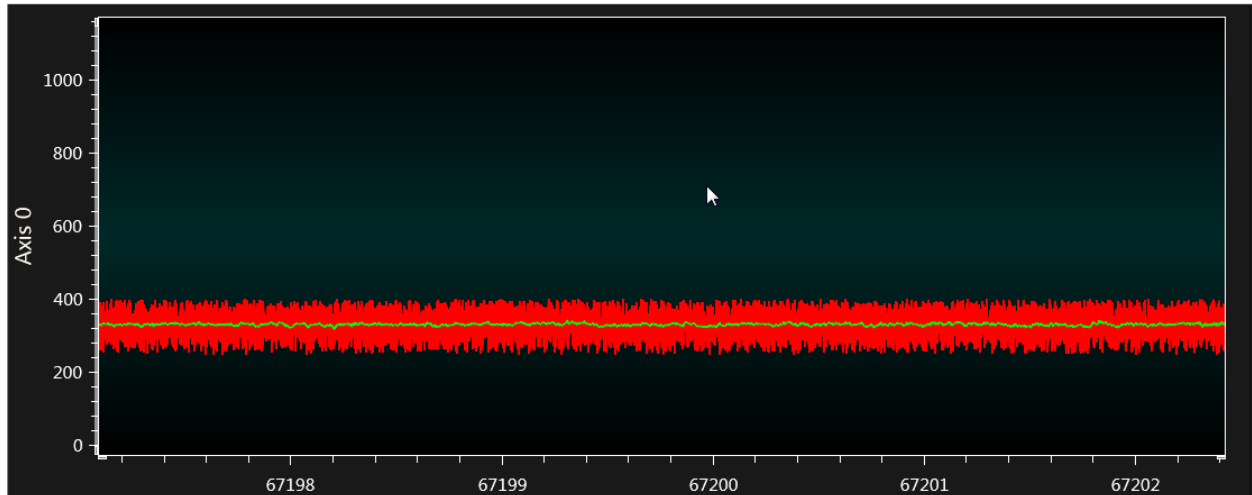
测试设置：

- 按下 HPC 板上的按钮 S1，验证 *Data Visualizer* 波形图中的计算模式编号是否显示为 5 以及 LED D5 是否点亮
- 将信号和噪声发生器配置为生成具有 0.5V 峰-峰值随机噪声的约 1V 直流信号

- 使用示波器验证输入信号

Data Visualizer 波形图如图 4-18 所示。红色信号是含噪声的输入信号（ADRES 值），绿色信号是滤波后的信号（ADFLTR 值）。

图 4-18. 具有随机噪声的直流信号



从图 4-18 中可以看出，使用 ADC^2 LPF 模式可以抑制噪声。在示例源代码中，ADCRS 位配置为 5。放大后，该波形图与基本模式、累加模式和平均模式的波形图相似，其中滤波后的信号的 ADC 计数介于约 315 和 340 之间。

在 LPF 模式下，对于每个新的采样，ADFLTR 中都会提供一个全新的 ADC 结果，而在平均模式下，每 2^{ADCRS} 个采样才有一个新的滤波值。

对于 LPF 模式，ADCRS 可以配置为 1 到 6 之间的值。当信号含有噪声时，ADCRS 值决定滤波后输出变化的剧烈程度。当 ADCRS 值较大时（例如 5 或 6），输入信号的突然变化对输出信号的影响会较小。相反，当 ADCRS 值较小时（例如 1 或 2），输入信号的突然变化也会在输出信号中观察到。这意味着当 ADCRS = 1 时，噪声会对输出信号产生重大影响。当 ADCRS = 6 时，噪声对输出信号的影响要小得多。

优点：LPF 模式可通过连续对采样求平均值来抑制直流信号的噪声，而无需软件开销。

缺点：ADCRS 位用作 RC 时间常数，可以配置为 1 到 6 之间的值。随着 ADCRS 值的增大，滤波输出达到稳定状态所花费的时间会增加，但是与总平均值的偏差对滤波输出产生的影响将会降低。

4.5.5.3 交流信号

任务：使用无噪声的交流信号在 *Data Visualizer* 中绘图，并观察 LPF 模式对给定输入交流信号的影响。换句话说，当给定输入交流信号的频率达到衰减频率时，观察输入信号的衰减情况。

- ADC² 计算模式：LPF 模式
- 输入信号：1V 峰-峰值、1 Hz 频率和 1.25V 偏移量的交流信号

测试设置：

- 验证 *Data Visualizer* 波形图中的计算模式编号是否显示为 5 以及 LED D5 是否点亮
- 将信号和噪声发生器配置为生成约 1V 幅值、1 Hz 频率和 1.25V 偏移量的交流信号
- 禁止随机噪声（若之前已使能）
- 使用示波器验证输入信号。预期结果如下所示

LPF 可以从交流输入信号中移除不必要的高频信号。LPF 硬件的工作方式与对直流信号进行滤波时相同：每个新的采样都会添加到累加器中，求平均值，然后除以 2^{ADCRS} ，以获取滤波后的输出。交流信号和直流信号之间的差异在于如何使用 ADCRS 值。对交流信号进行滤波时，ADCRS 值决定单极点滤波器的 -3 dB 衰减频率。

表 4-5 给出了各个有效 ADCRS 值的 -3 dB 点（以每秒弧度表示）。

注：关于各个 ADCRS 值的 -3 dB 点表格，可在包含 ADC² 模块的任意器件的数据手册的 ADC² 一章中获得。

4.5.5.3.1 ADCRS 对-3 dB 衰减频率的影响

在低通滤波器模式下，ADCRS 值依然决定单极点滤波器的-3 dB 衰减频率。下表给出了基于 ADCRS 值的-3 dB 衰减频率下的弧度值。

表 4-5. -3 dB 衰减下的弧度值

ADCRS	RPT	-3 dB 衰减下的弧度
1	2	0.72
2	4	0.284
3	8	0.134
4	16	0.065
5	32	0.032
6	64	0.016

上表中列出的弧度值由 ADC^2 的硬件定义。这些值可用于根据频率计算-3 dB 衰减点。以下公式可用于确定-3 dB 点。

公式 4-2. -3 dB 衰减频率公式

$$Frequency@-3dBpoint = \frac{Radians@-3dB}{2\pi T}$$

其中：

-3 dB 时的弧度 = 表 4-5 中 ADCRS 值对应的值。

T = 总采样时间。

总采样时间是两次采样之间的测量时间。

总采样时间包括 ADC 采集时间、转换时间、中断时间和对 ADC 结果进行后处理（例如串行传输）所需的时间。ADC 程序中包含的指令数也会影响总采样时间。

在本示例中，获取 ADC 采样后，ADC 结果通过 EUSART 传输。由于保持了足够高的波特率，因此采样率不受串行传输的影响。

表 4-6 给出了使用公式 4-2 计算出的不同衰减频率（在-3 dB 点处计算出的频率（Hz）），其中采样时间 T = 625 μs（因为示例源代码中的 ADC 自动转换触发时间配置为 625 μs）。

例如：当 ADCRS = 5、-3 dB 截止频率下的弧度 = 0.032、T = 625 μs 时。

$$Frequency@-3dBpoint = \frac{0.032}{2\pi \times 625} = 8.15Hz$$

当给定的输入交流信号达到大约 8 Hz 后，就可以观察到输入交流信号衰减。

表 4-6. 采样时间对衰减频率的影响

ADCRS	-3 dB 截止频率下的弧度	测得的采样时间[μs]	-3 dB 点处计算出的频率 [Hz]
1	0.72	625.0	183.34
2	0.284	625.0	72.35
3	0.134	625.0	34.14
4	0.065	625.0	16.56
5	0.032	625.0	8.15
6	0.016	625.0	4.07

下一节将演示 ADCRS = 5 时的波形图。

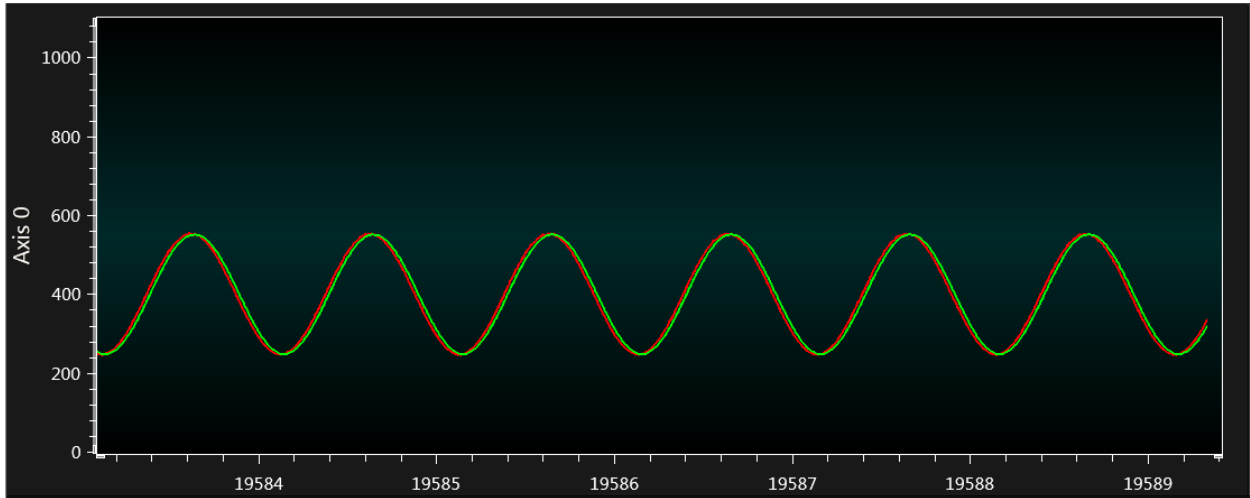
4.5.5.3.2 波形图

1 Hz 正弦信号:

在示例源代码中，ADCRS 配置为 5。根据表 4-6 可知，ADCRS = 5 时的-3 dB 衰减点为 8 Hz。

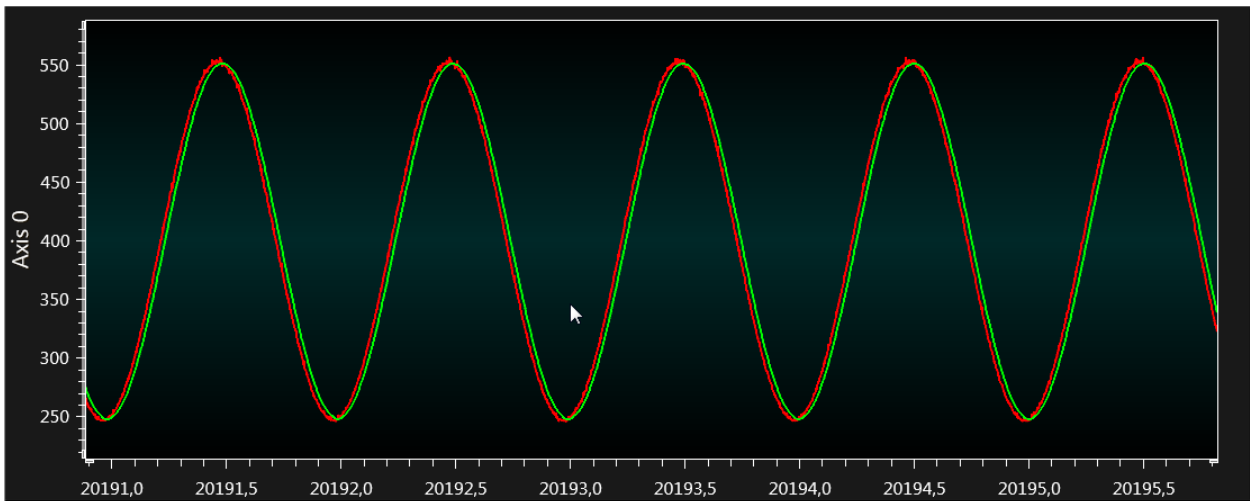
ADC 输入信号的频率为 1 Hz，低于 8 Hz 的-3 dB 衰减点。由于 1 Hz 安全地位于滤波器的低频通带内，因此滤波后的信号和原始信号相等。如图 4-19 所示，红色信号是 ADC 输入信号（ADRES 值），绿色信号是滤波后的信号（ADFLTR 值）。

图 4-19. 1 Hz 交流信号



如果通过选中“Automatically fit Y”（自动调整 Y）复选框来放大信号，则可以看出 ADC 计数介于 560 和 250 之间。因此，ADC 计数之差为 310，即配置的输入信号 1V 峰-峰值的 ADC 计数值（ $310 \times 3.3/1023 = 1$ ）。

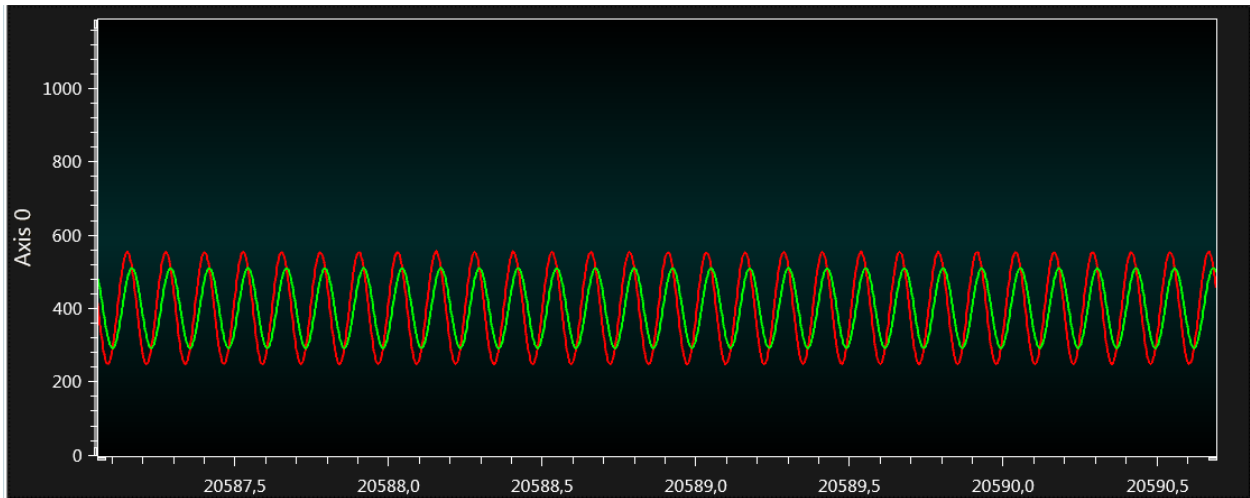
图 4-20. 放大后的 1 Hz 交流信号



8 Hz 正弦信号:

现在，将信号和噪声发生器配置为生成 8 Hz 信号，然后调整图上的比例并观察波形图。

图 4-21. 8 Hz 交流信号

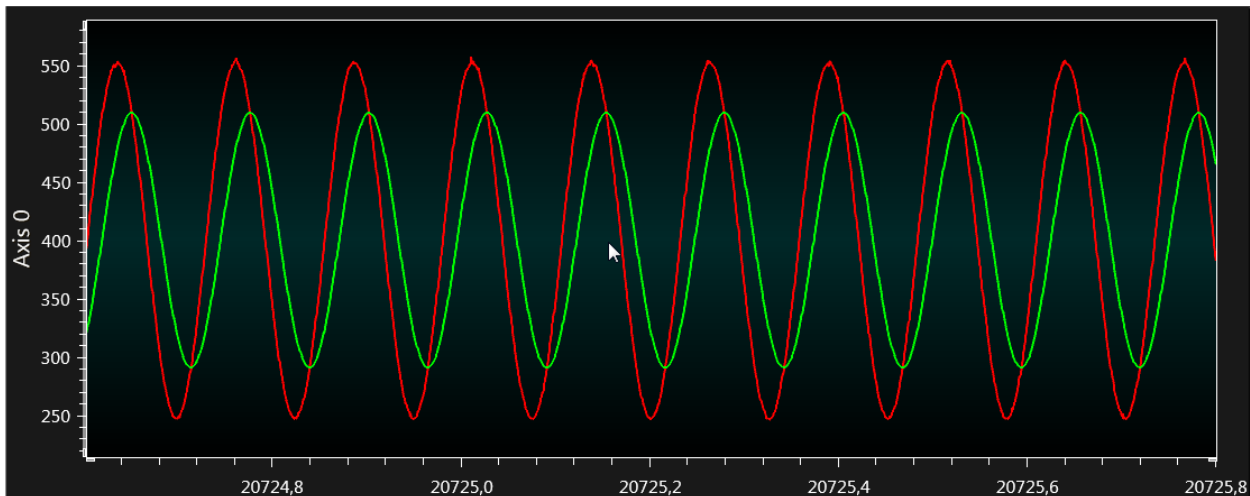


当正弦波的频率增大到 8 Hz 时，滤波器会主动减小信号的幅值，因此峰-峰值电压会降低，如图 4-21 所示。

在 -3 dB 频率下，峰-峰值幅值应约为原始输入信号的 70.7%。

如果放大信号，则图像如图 4-22 所示。

图 4-22. 放大后的 8 Hz 交流信号



从图中可以看出，滤波后的信号（绿色信号）的 ADC 计数介于约 290 和 510 之间（ADC 计数值之差为 220），从而得出 8 Hz 时的峰-峰值电压为 0.709V（ $220 \times 3.3/1023 = 0.709$ ）。

如果将原始的 1V 峰-峰值乘以 0.707，则峰-峰值电压为 0.707V。

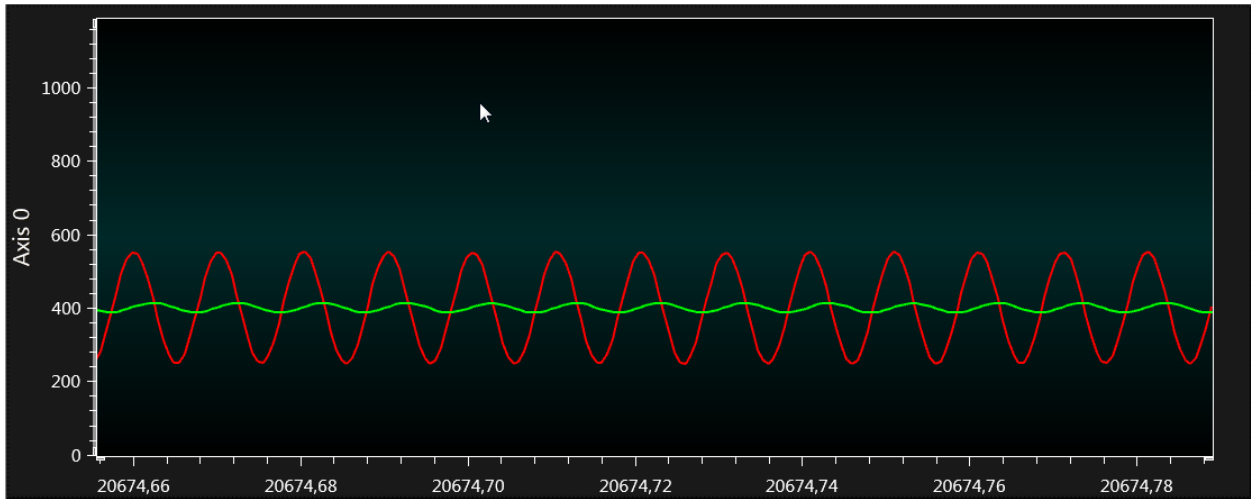
从图中可以看出，滤波后的信号是原始输入信号的 70.7%。

如果频率进一步增大，则会观察到输入信号进一步衰减。

100 Hz 正弦信号：

将信号和噪声发生器配置为生成 100 Hz 信号，然后调整图上的比例并观察波形图。

图 4-23. 100 Hz 交流信号



随着频率的持续增大，峰-峰值范围将会缩小，如图 4-23 所示。

4.5.5.3.3 LPF 模式：具有随机噪声的交流信号

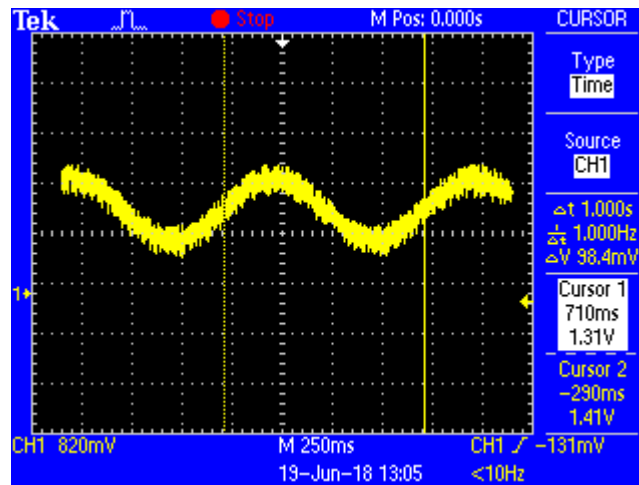
任务：使用具有随机噪声的交流信号在 *Data Visualizer* 中绘图，并观察 LPF 的噪声抑制效果

- ADC² 计算模式：LPF 模式
- 输入信号：1V 峰-峰值、1 Hz 频率和 1.25V 偏移量的交流信号

测试设置：

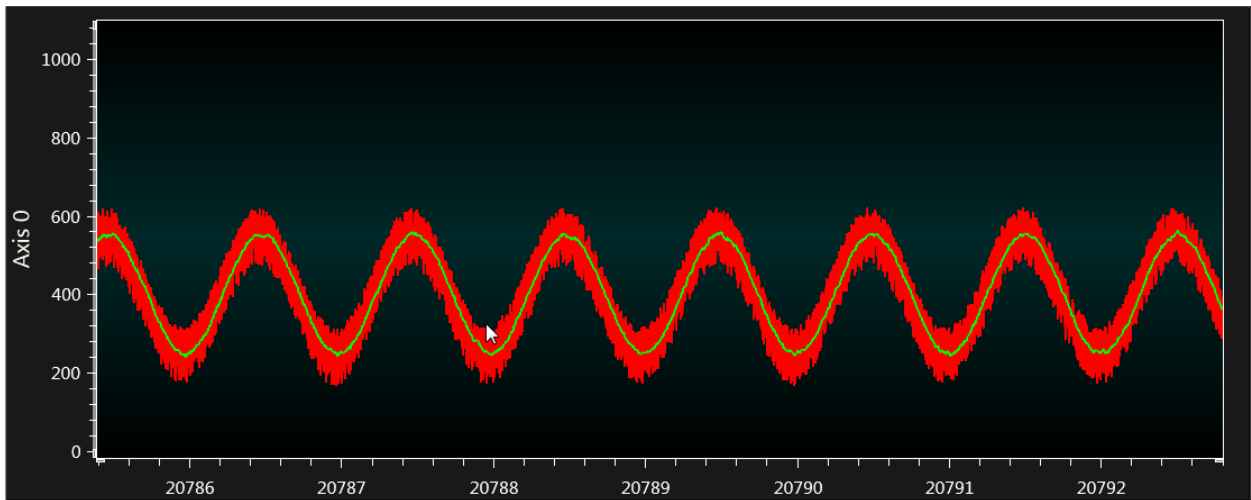
- 验证 *Data Visualizer* 波形图中的计算模式编号是否显示为 5 以及 LED5 是否点亮
- 将信号和噪声发生器配置为生成约 1V 幅值、1 Hz 频率和 1.25V 偏移量的交流信号
- 使能峰-峰值为 0.5V 的随机噪声
- 使用示波器验证输入信号。预期结果如图 4-24 所示。

图 4-24. 具有随机噪声的 1 Hz 交流信号的振荡器截图



Data Visualizer 波形图如图 4-25 所示。红色信号是含噪声的交流输入信号（ADRES 值），绿色信号是滤波后的信号（ADFLTR 值）。

图 4-25. 具有随机噪声的 1 Hz 交流信号



1 Hz 信号低于 8 Hz 衰减频率（ADCRS 值配置为 5，请参见表 4-6）。从图 4-25 中的波形图可以看出，将随机噪声添加到 1 Hz 信号中时，使用 *LPF* 模式可以实现噪声抑制，并且可以观察到相对干净的信号。

优点：LPF 可以从交流输入信号中移除不必要的高频信号。

4.5.6 波形图：所有模式差别

图 4-26 中的波形图汇总显示了所有模式对具有随机噪声的直流信号的噪声抑制结果。

图 4-26. 波形图：所有模式差别

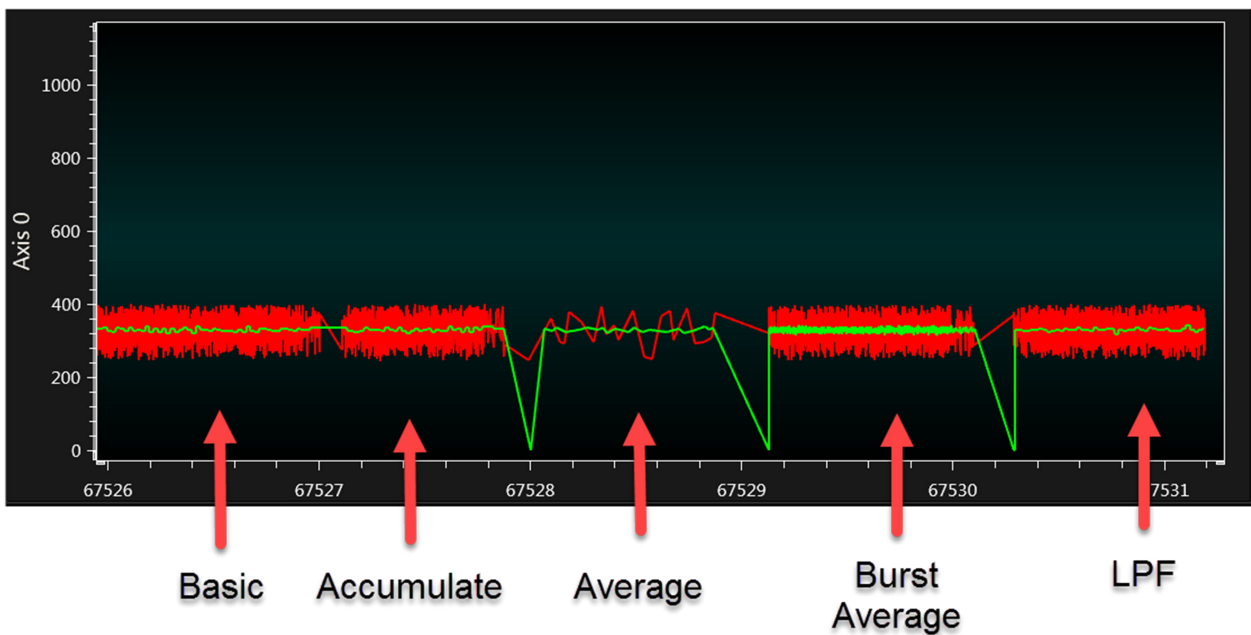


表 4-7. 差别

	基本模式	累加模式	平均模式	突发平均模式	LPF 模式
优点	用于求平均值的累加采样数不受限制，而其他 ADC ² 模式则限制为 64 个。	ADACC 寄存器可提供最多 64 个采样的累加值，ADFLTR 寄存器可提供所有累加采样的平均值，从而避免了软件开销。	由于可以使用 ADACC 和 ADFLTR 寄存器，因此无需用于采样累加和求平均值的软件开销。	可以实现对交流信号的噪声抑制。求平均值时没有软件开销。	从交流输入信号中移除不必要的高频信号。
缺点	需要在代码中处理累加和求平均值，即存在软件开销。	需要通过代码来检查累加采样数及清零 ADACC 寄存器。	累加采样数限制为 64。	降噪效果相对较差。ADC 采样率受单次突发中累加采样数的影响。	ADCRS 位用作直流信号的 RC 时间常数。随着 ADCRS 的增大，滤波后的输出达到稳定状态所花费的时间会增加。

5. 5V/3.3V ADC 参考电压下的噪声级比较

本章使用 3.3V 和 5V ADC 参考电压在 *Data Visualizer* 中绘制了含噪声的直流信号波形图，并在给定的输入直流信号 $VDD/2$ 下对噪声级进行了比较。

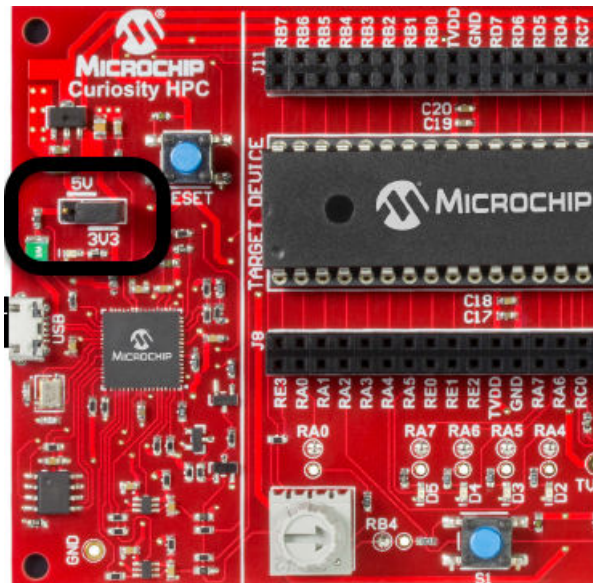
由于 ADC 配置为使用 VDD 作为参考电压，因此更改 HPC 板上的跳线即可更改 ADC 参考电压。

信号和噪声发生器板生成的输入信号： $VDD/2$ 直流信号 + 0.5V 峰-峰值随机噪声

ADC² 计算模式选作平均模式。

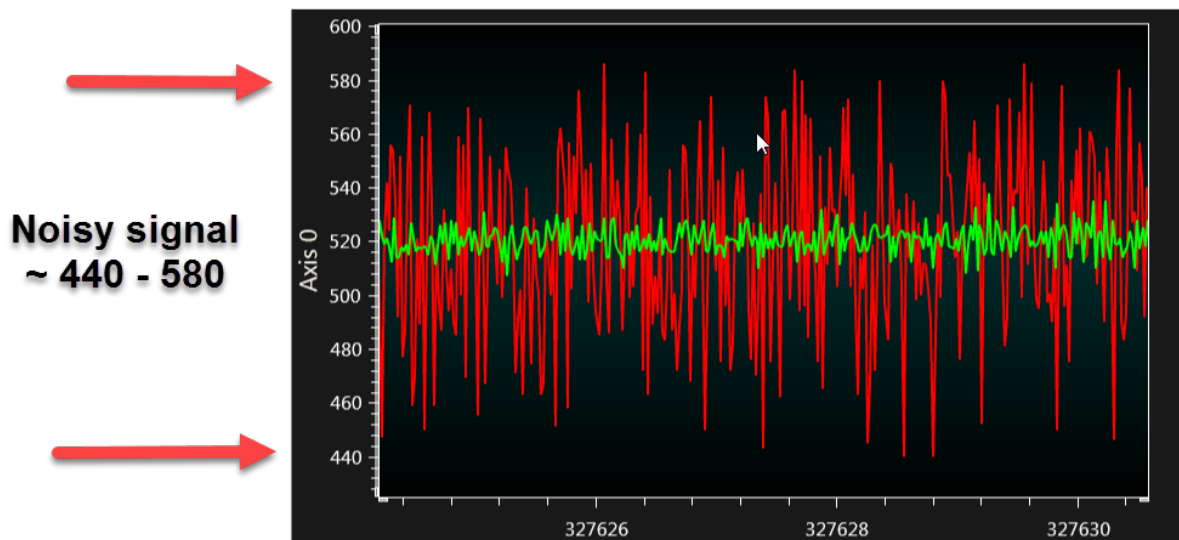
5.1 使用 3.3V ADC 参考电压时的波形图

图 5-1. VDD 选择 3V3



使用 $VDD = 3.3V$ 和 ADC 输入信号 $VDD/2 = 1.65V$ 时的 *Data Visualizer* 波形图如图 5-2 所示。红色信号是含噪声的输入信号（ADRES 值），绿色信号是滤波后的信号（ADFLTR 值）。

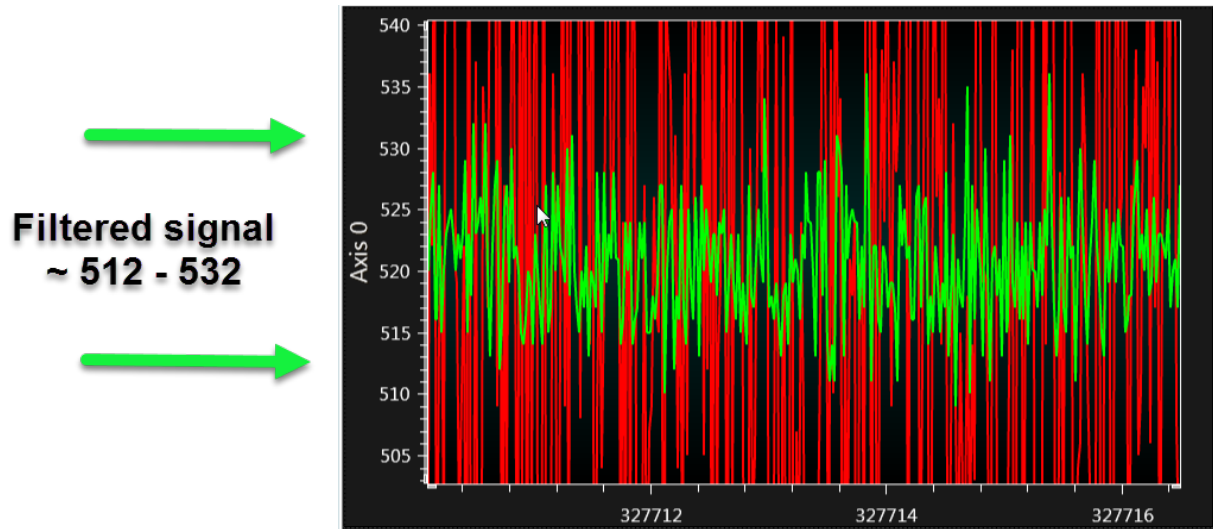
图 5-2. 使用 1.65V 直流信号和 3.3V ADC 参考电压时的波形图



从图中可以看出，未经滤波的信号（含噪声的输入信号）的 ADC 计数值介于约 440 和 580 之间。

如果放大信号，则如图 5-3 所示。

图 5-3. 使用 1.65V 直流信号和 3.3V ADC 参考电压时的放大波形图



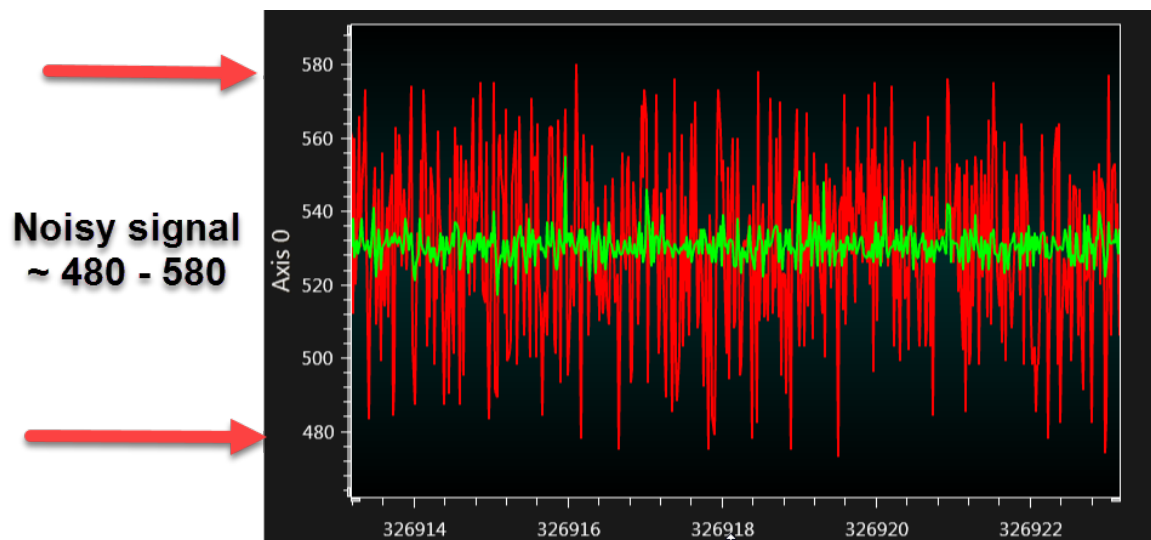
从图 5-3 中可以看出，滤波后的信号的 ADC 计数值介于约 512 和 532 之间。

5.2 使用 5V ADC 参考电压时的波形图

注：需要通过选择 HPC 上的跳线位置来配置 $VDD = 5V$ ，信号和噪声发生器生成的输入信号为 2.5V

使用 $VDD = 5V$ 和 ADC 输入信号 $VDD/2 = 2.5V$ 时的 *Data Visualizer* 波形图如图 5-4 所示。红色信号是含噪声的输入信号（ADRES 值），绿色信号是滤波后的信号（ADFLTR 值）。

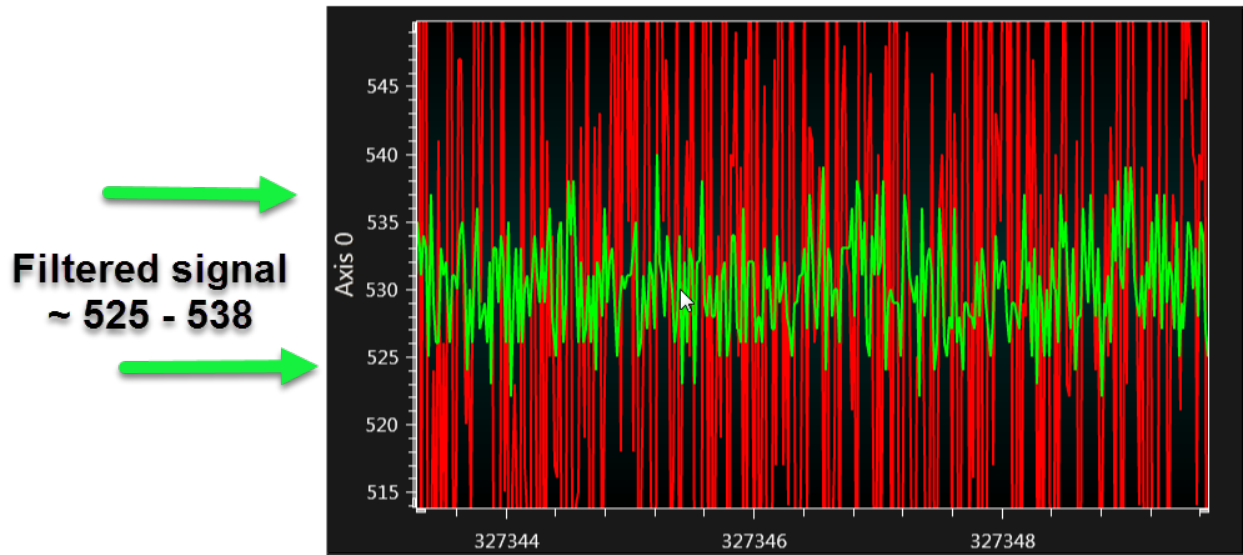
图 5-4. 使用 2.5V 直流信号和 5V ADC 参考电压时的波形图



从图中可以看出，未经滤波的信号（含噪声的输入信号）的 ADC 计数值介于约 480 和 580 之间。

放大后的信号如图 5-5 所示。

图 5-5. 使用 2.5V 直流信号和 5V ADC 参考电压时的放大波形图



从图 5-5 中可以看出，滤波后的信号的 ADC 计数值介于约 525 和 538 之间。

噪声级比较表如表 5-1 所示。

表 5-1. ADC 计数值相近时的 3.3V 和 5V 噪声级比较

	3.3V ADC 参考电压	5V ADC 参考电压
ADC 计数（未滤波）	440-580	480-580
噪声计数（未滤波）	140	100
ADC 计数（滤波后）	512-532	525-538
噪声计数（滤波后）	20	13

信号使用 5V ADC 参考电压时的噪声计数小于使用 3.3V ADC 参考电压时的噪声计数。

6. 附录 A: 在 Data Visualizer 中绘图

注: 有关 *Data Visualizer* 的详细信息, 请参见 [Data Visualizer User's Guide](#)。

在示例源代码中, ADC 结果值通过 EUSART 发送到 *Data Visualizer* 的串行终端, 然后将该串行终端数据作为输入进行馈送以绘制波形图。

使用数据流协议将 ADC 结果发送到串行终端。

如何使用数据流协议发送 16 位值:

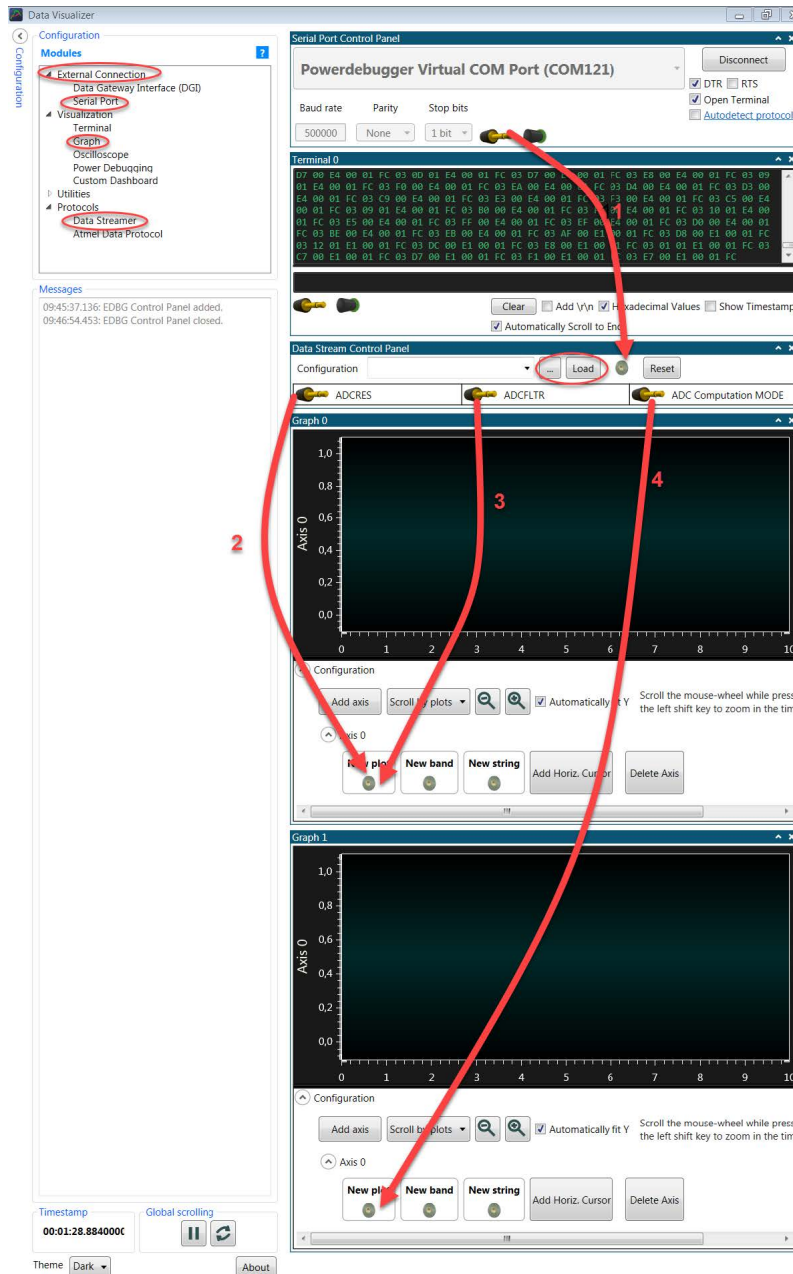
ADC 已配置为 10 位, 此 10 位 ADC 结果需要发送到 8 位 EUSART。由于一个 ADC 结果值将以两个字节的形式发送, 因此将通过数据流传输协议将 ADC 结果发送到串行终端 (如下所示), 以便使用一个 16 位值绘图。

```
EUSART_write(0x03); //开始 EUSART_write(adc_data_LSB); EUSART_write(adc_data_MSB);  
EUSART_write(0xFC); //结束
```

Data Visualizer 配置:

- 打开 *Data Visualizer*
- 在 *Data Visualizer* 中, 打开 [Configuration → External Connection → Serial Port](#) (配置 → 外部连接 → 串行端口)
- 选择 EDBG 虚拟 COM 端口, 波特率: 500000, 然后选择 **Connect** (连接)
- 打开 [Configuration → Protocols → Data Streamer](#) (配置 → 协议 → Data Streamer)
- 在 *Data Stream Control Panel* (数据流控制面板) 的 [Configuration](#) (配置) 下, 浏览到配置文件, 然后选择 **Load** (加载)
注: 在本例中, 配置文件为 `noise_suppression_data_streamer.txt`, 可以在示例源代码项目文件夹中找到。
注: 有关 *Data Streamer* 的更多详细信息, 请参见 [Data Visualizer User's Guide](#)。
- 打开 [Configuration → Visualization → Graph](#) (配置 → 可视化 → 图)
注: 打开两个 *Graph* 窗口, 一个用于“ADC 结果”, 另一个用于“ADC 计算模式编号”。
- 使用图 6-1 中的红色箭头如图所示拖动连接, 以进行绘图

图 6-1. 绘图



要调整图中的 Y 轴，请按以下步骤操作：

- 在 *Graph* 中的 *Configuration* 下，取消选中 *Automatically Fit Y*（自动调整 Y）
- 单击绘图区域内的某个位置
- 按住 **Ctrl** 键的同时滚动鼠标滚轮

要调整图中的 X 轴，请按以下步骤操作：

- 单击绘图区域内的某个位置
- 按住 **Shift** 键的同时滚动鼠标滚轮

注： 有关 *Data Visualizer* → *Graph* 更多详细信息，请参见 [Data Visualizer User's Guide](#)。

7. 版本历史

文档版本	日期	备注
A	2019 年 6 月	文档初始版本

Microchip 网站

Microchip 网站 (<http://www.microchip.com/>) 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。我们的网站提供以下内容：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题解答 (FAQ)、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

产品变更通知服务

Microchip 的产品变更通知服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请访问 <http://www.microchip.com/pcn>，然后按照注册说明进行操作。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 嵌入式解决方案工程师 (ESE)
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式和地址。

也可通过以下网站获得技术支持：<http://www.microchip.com/support>

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿意与关心代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

法律声明

提供本文档的中文版本仅为为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担

保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，否则在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PackeTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTrackr、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2020, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-5837-1

质量管理体系

有关 Microchip 的质量管理体系的信息，请访问 <http://www.microchip.com/quality>。

全球销售及服务中心

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话: 480-792-7200 传真: 480-792-7277 技术支持: http://www.microchip.com/support 网址: http://www.microchip.com	澳大利亚 - 悉尼 电话: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 电话: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 电话: 86-28-8665-5511 中国 - 重庆 电话: 86-23-8980-9588 中国 - 东莞 电话: 86-769-8702-9880 中国 - 广州 电话: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 电话: 86-571-8792-8115 中国 - 香港特别行政区 电话: 852-2943-5100 中国 - 南京 电话: 86-25-8473-2460 中国 - 青岛 电话: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 电话: 86-21-3326-8000 中国 - 沈阳 电话: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 电话: 86-755-8864-2200 中国 - 苏州 电话: 86-186-6233-1526 中国 - 武汉 电话: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 电话: 86-29-8833-7252 中国 - 厦门 电话: 86-592-2388138 中国 - 珠海 电话: 86-756-3210040	印度 - 班加罗尔 电话: 91-80-3090-4444 印度 - 新德里 电话: 91-11-4160-8631 印度 - 浦那 电话: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 电话: 81-6-6152-7160 日本 - 东京 电话: 81-3-6880-3770 韩国 - 大邱 电话: 82-53-744-4301 韩国 - 首尔 电话: 82-2-554-7200 马来西亚 - 吉隆坡 电话: 60-3-7651-7906 马来西亚 - 槟榔屿 电话: 60-4-227-8870 菲律宾 - 马尼拉 电话: 63-2-634-9065 新加坡 电话: 65-6334-8870 台湾地区 - 新竹 电话: 886-3-577-8366 台湾地区 - 高雄 电话: 886-7-213-7830 台湾地区 - 台北 电话: 886-2-2508-8600 泰国 - 曼谷 电话: 66-2-694-1351 越南 - 胡志明市 电话: 84-28-5448-2100	奥地利 - 韦尔斯 电话: 43-7242-2244-39 传真: 43-7242-2244-393 丹麦 - 哥本哈根 电话: 45-4485-5910 传真: 45-4485-2829 芬兰 - 埃斯波 电话: 358-9-4520-820 法国 - 巴黎 电话: 33-1-69-53-63-20 传真: 33-1-69-30-90-79 德国 - 加兴 电话: 49-8931-9700 德国 - 哈恩 电话: 49-2129-3766400 德国 - 海尔布隆 电话: 49-7131-72400 德国 - 卡尔斯鲁厄 电话: 49-721-625370 德国 - 慕尼黑 电话: 49-89-627-144-0 传真: 49-89-627-144-44 德国 - 罗森海姆 电话: 49-8031-354-560 以色列 - 若那那市 电话: 972-9-744-7705 意大利 - 米兰 电话: 39-0331-742611 传真: 39-0331-466781 意大利 - 帕多瓦 电话: 39-049-7625286 荷兰 - 德卢内市 电话: 31-416-690399 传真: 31-416-690340 挪威 - 特隆赫姆 电话: 47-72884388 波兰 - 华沙 电话: 48-22-3325737 罗马尼亚 - 布加勒斯特 电话: 40-21-407-87-50 西班牙 - 马德里 电话: 34-91-708-08-90 传真: 34-91-708-08-91 瑞典 - 哥德堡 电话: 46-31-704-60-40 瑞典 - 斯德哥尔摩 电话: 46-8-5090-4654 英国 - 沃金厄姆 电话: 44-118-921-5800 传真: 44-118-921-5820
亚特兰大 德卢斯, 佐治亚州 电话: 678-957-9614 传真: 678-957-1455 奥斯汀, 德克萨斯州 电话: 512-257-3370 波士顿 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 774-760-0087 传真: 774-760-0088 芝加哥 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 630-285-0071 传真: 630-285-0075 达拉斯 阿迪森, 德克萨斯州 电话: 972-818-7423 传真: 972-818-2924 底特律 诺维, 密歇根州 电话: 248-848-4000 休斯顿, 德克萨斯州 电话: 281-894-5983 印第安纳波利斯 诺布尔斯特维尔, 印第安纳州 电话: 317-773-8323 传真: 317-773-5453 电话: 317-536-2380 洛杉矶 米慎维荷, 加利福尼亚州 电话: 949-462-9523 传真: 949-462-9608 电话: 951-273-7800 罗利, 北卡罗来纳州 电话: 919-844-7510 纽约, 纽约州 电话: 631-435-6000 圣何塞, 加利福尼亚州 电话: 408-735-9110 电话: 408-436-4270 加拿大 - 多伦多 电话: 905-695-1980 传真: 905-695-2078			