

数字滤波器的选择：AD7190、AD7192

作者：Mary McCarthy

简介

标题所列Σ-Δ ADC内置用户可选的 sinc^3 和 sinc^4 数字滤波器。本应用笔记将比较这两种滤波器，明确各自的优点以及使用每种滤波器的影响。

SINC滤波器

Σ-Δ ADC内置一个Σ-Δ调制器，后接一个数字滤波器。调制器以高采样速率对模拟输入连续采样，并输出1位数据流。位流中1的数量对应于模拟输入电压。然后，数字滤波器处理位流并执行抽取，以产生24位转换结果。

Sinc滤波器用作所讨论产品的数字滤波器。输出数据速率 f_{ADC} ，即ADC在单一通道上连续转换的速率等于：

$$f_{\text{ADC}} = f_{\text{CLK}} / (1024 \times \text{FS}[9:0])$$

其中：

f_{CLK} 为主时钟频率(标称值4.92 MHz)。

FS[9:0]为模式寄存器FS9位至FS0位中的码的十进制等效值。

这是禁用斩波时输出数据速率的计算公式。请注意，本应用笔记假设禁用斩波，除非另有说明。

图1显示10 Hz输出数据速率时 sinc^3 滤波器的频率响应，图2显示10 Hz输出数据速率时 sinc^4 滤波器的频率响应。陷波位置由输出数据速率决定。陷波宽度取决于滤波器阶数。随着阶数提高，陷波将变得更宽。因此，输出数据速率决定陷波位置，滤波器阶数则决定可以在陷波周围获得的抑制。随着滤波器阶数提高，滚降、阻带衰减、建立时间和噪声都会受影响。

50 Hz/60 Hz抑制

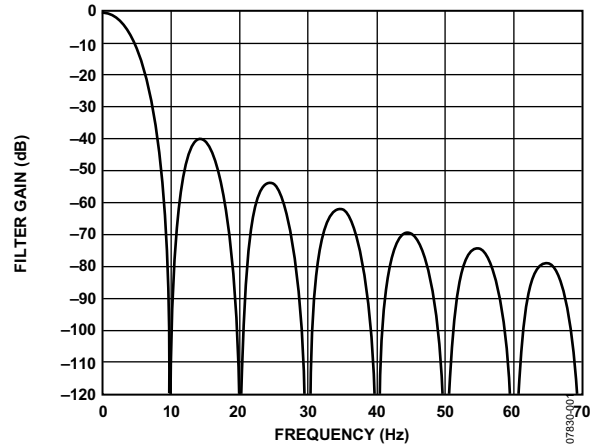


图1. Sinc^3 滤波器响应($f_{\text{ADC}} = 10 \text{ Hz}$)

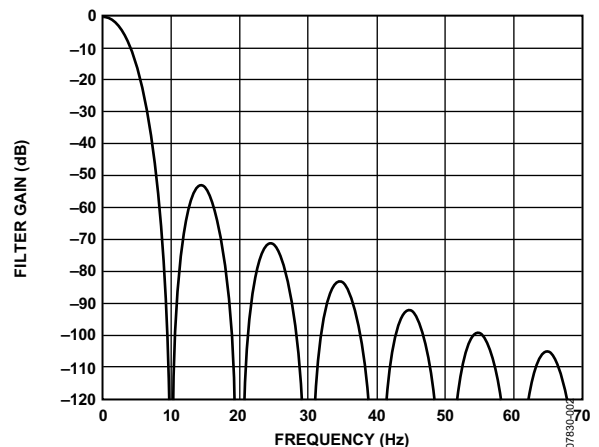


图2. Sinc^4 滤波器响应($f_{\text{ADC}} = 10 \text{ Hz}$)

图1显示输出数据速率为10 Hz时 sinc^3 滤波器的频率响应。陷波出现在输出数据速率及其倍数处。因此，陷波位于10 Hz、20 Hz、30 Hz等。可以利用此特性来抑制来自电源的干扰，这是许多应用的关键要求。在世界上的一些地区，需要抑制50 Hz干扰，而在另一些地区，则需要抑制60 Hz干扰。可以利用sinc滤波器的陷波来抑制这种干扰。当输出数据速率为10 Hz时，陷波位于50 Hz和60 Hz，因而能够实现50 Hz和60 Hz同时抑制。终端系统如果需要销往世界上的许多国家和地区，则必须具备此特性。

从图1可知，当输出数据速率等于10 Hz时， $50 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$ 和 $60 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$ 抑制超过100 dB；其前提是系统时钟具有低抖动和漂移，例如利用晶振提供系统时钟。

图2显示输出数据速率为10 Hz时 sinc^4 滤波器的频率响应。与 sinc^3 滤波器一样，陷波位于10 Hz和10 Hz的倍数。但是，由于陷波更宽， $50 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$ 和 $60 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$ 抑制超过120 dB。

如果只需要50 Hz抑制或60 Hz抑制，则可以提高输出数据速率；因此，对于仅50 Hz抑制，可以使用的最大输出数据速率为50 Hz。此时， sinc 滤波器的第一陷波位于50 Hz。同样，60 Hz输出数据速率将使第一陷波位于60 Hz。

当ADC以50 Hz输出数据速率工作时，有一个片内特性也能使陷波位于60 Hz。如果模式寄存器的REJ60位设为1，则当输出数据速率为50 Hz时，60 Hz处也有一个陷波。因此，可以将输出数据速率从10 Hz提高到50 Hz，同时仍然能够获得50 Hz和60 Hz同时抑制。图3显示输出数据速率为50 Hz且REJ60设为1时的滤波器响应。最差情况的 $50 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$ 和 $60 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$ 抑制为67 dB。当使用 sinc^4 滤波器时(见图4)，最差情况的 $50 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$ 和 $60 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$ 抑制为82 dB。

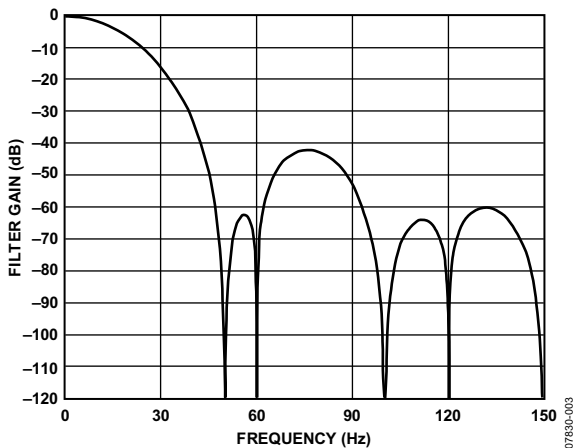


图3. sinc^3 滤波器响应($f_{\text{ADC}} = 50 \text{ Hz}$, $\text{REJ60} = 1$)

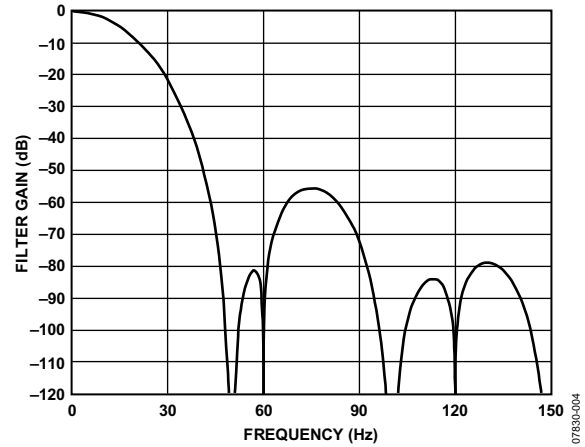


图4. sinc^4 滤波器响应($f_{\text{ADC}} = 50 \text{ Hz}$, $\text{REJ60} = 1$)

阻带衰减

滤波器阶数会引起的滤波器响应变化，表现为除了影响陷波宽度外，还会改变阻带衰减和滤波器滚降。阻带衰减是指数字滤波器对第一陷波以上频率的衰减(见图5)。随着滤波器阶数提高，阻带衰减将得到改善。 sinc^3 滤波器的阻带衰减为40 dB， sinc^4 滤波器则为53 dB。

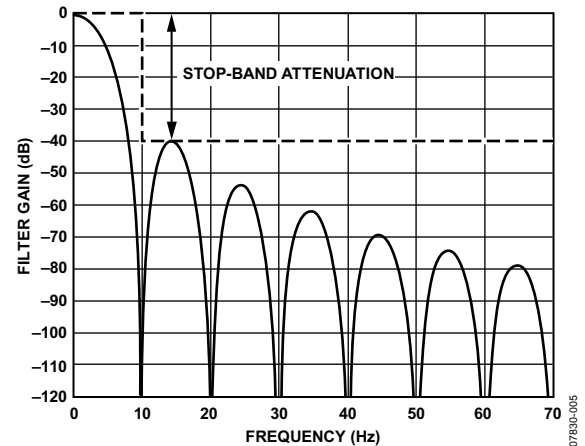


图5. 阻带衰减

噪声和分辨率

这些器件能够以4.7 Hz至4.8 kHz的可编程输出数据速率工作。除滤波器阶数外，输出数据速率也会影响噪声，从而影响分辨率。输出数据速率较低时， sinc^3 与 sinc^4 滤波器的均方根噪声相似(见图6)。但是，如果输出数据速率较高(1 kHz或更高)，则 sinc^4 滤波器的均方根噪声性能更优越。图7显示不同输出数据速率时的无噪声(峰峰值)分辨率。

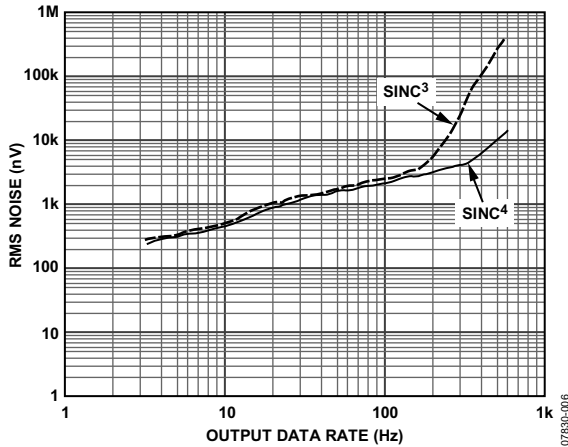


图6. 均方根噪声与输出数据速率的关系(增益 = 1, $V_{RFE} = 5\text{ V}$)

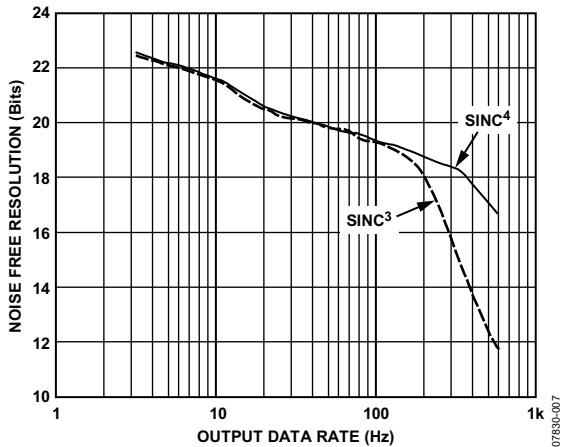


图7. 无噪声分辨率与输出数据速率的关系(增益 = 1, $V_{RFE} = 5\text{ V}$)

建立时间

对于多通道应用，建立时间是需要考虑的另一个参数。当在单一通道上连续转换时，如果模拟输入信号是连续的，ADC将以设定的输出数据速率输出有效转换结果。然而，如果发生配置变更，例如更改通道、增益或输出数据速率等，则配置变更之后的第一次转换需要花费额外的时间。图8显示ADC以10 Hz输出数据速率工作时通道变更的影响。发生通道变更时，调制器和滤波器将复位。然后，ADC开始对新的模拟输入采样。必须让滤波器完全建立起来，才能产生第一个有效转换结果。对于 sinc^3 滤波器，建立时间 t_{SETTLE} 等于：

$$t_{\text{SETTLE}} = 3/f_{\text{ADC}}$$

对于 sinc^4 滤波器，建立时间等于：

$$t_{\text{SETTLE}} = 4/f_{\text{ADC}}$$

如果ADC在单一通道上执行转换，但模拟输入信号发生阶跃变化，则ADC需要处理新的模拟输入。如果阶跃变化与转换过程同步，则必须经过建立时间后，才能提供有效转换结果。ADC并不检测模拟输入的阶跃变化，因此它会以设定的输出数据速率继续输出转换结果。然而，中间转换结果并不准确；它们反映的是模拟输入的变化，同时精度较低。

如果阶跃变化发生在转换过程当中，则必须等待当前转换结束，再经过适当的建立时间后，才能产生有效转换结果。对于 sinc^3 滤波器，总时间延长至 $4/f_{\text{ADC}}$ ；对于 sinc^4 滤波器，产生有效转换结果所需的时间则延长至 $5/f_{\text{ADC}}$ 。

总之，当输出数据速率相同时， sinc^3 滤波器比 sinc^4 滤波器建立得更快。虽然 sinc^4 滤波器的均方根噪声性能和无噪声分辨率高于 sinc^3 滤波器，但前者的建立时间更长。

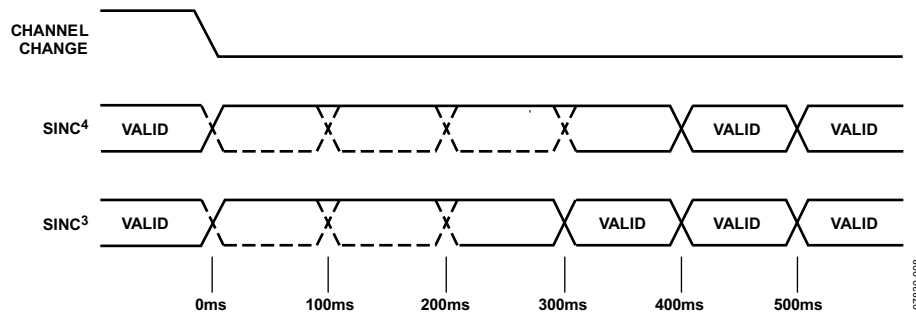


图8. 建立时间(同步阶跃变化)

结论

sinc滤波器的阶数影响 Σ - Δ ADC可实现的性能。高阶sinc滤波器可以提供更好的陷波频率抑制和阻带衰减，而且能在高输出数据速率时提供更优的噪声性能和分辨率。缺点是建立时间更长，sinc⁴滤波器的建立时间比sinc³滤波器的建立

时间长一个转换周期。因此，滤波器选择取决于所需的50 Hz和60 Hz抑制组合、所用的输出数据速率以及所需的噪声性能和分辨率。对于标题所列 Σ - Δ ADC，表1列出了不同数字滤波器影响的多个关键性能的参数。

表1. Sinc³和Sinc⁴滤波器的一些关键性能参数比较

参数	Sinc ³	Sinc ⁴
均方根噪声($f_{\text{ADC}} = 10$ Hz, 增益 = 1)	350 nV	330 nV
无噪声分辨率($f_{\text{ADC}} = 10$ Hz, 增益 = 1)	22	22
均方根噪声($f_{\text{ADC}} = 4800$ Hz, 增益 = 1)	442 μ V	14.3 μ V
无噪声分辨率($f_{\text{ADC}} = 4800$ Hz, 增益 = 1)	11.5	16.5
50 \pm 1 Hz和60 \pm 1 Hz抑制($f_{\text{ADC}} = 10$ Hz)	-100 dB	-120 dB
50 \pm 1 Hz和60 \pm 1 Hz抑制($f_{\text{ADC}} = 50$ Hz, REJ60 = 1)	67 dB	82 dB
阻带衰减	40 dB	53 dB
建立时间	3/ f_{ADC}	4/ f_{ADC}