

ADA2200用作时域滤波器

作者: Gustavo Castro, ADI公司

引言

本小型指南简要介绍ADA2200用作可编程滤波器的工作情况。

简介

ADA2200是一款极为灵活的器件，若禁用其同步解调器功能则可用作可编程滤波器。上电/复位时，通过SPI端口或EEPROM写入23个不同的寄存器，可在可编程滤波器模块上实现不同的滤波器配置，如低通滤波器、带通滤波器、高通滤波器和带阻滤波器(如图1所示)。此外，可通过改变CLKIN的时钟速率，或通过改变时钟分频值来调节转折频率或中心频率的频率位置。

滤波器由两部分组成：抽取滤波器和可编程滤波器。抽取滤波器具有固定的传递函数，有助于防止混叠进入可编程模块。可编程滤波器是一个无限脉冲响应(IIR)滤波器，以输入采样速率的 $\frac{1}{8}$ 对抽取滤波器的输出进行采样，然后以相同的速率更新其输出。SYNCO端子在每次输出发生改变时生成同步脉冲，用来重构与其它离散时间器件(比如ADC)同步的滤波信号。

由于ADA2200内的滤波器取决于一组电容阵列，因此传递函数的特性是可以重复的，可以通过输入时钟来控制滤波器位置，并且它的功耗极低。

本指南旨在简要介绍ADA2200用作可编程滤波器的工作情况，并为用户提供定义滤波器的寄存器内容，如表1所示。

表1.

滤波器类型	阶数Q	转折频率/中心频率 (Hz) ¹	通带增益 (dB)
带通(BP1)	二阶, Q = 8.4	$f_{SI}/32$	0
带通(BP2)	二阶, Q = 4.3	$f_{SI}/32$	0
低通(LP1)	四阶	$f_{SI}/40$	0
低通(LP2)	四阶	$f_{SI}/64$	0
陷波	一阶	$f_{SI}/32$	0

¹ 例如，如果 $f_{SI} = f_{CLK} = 500$ kHz，则转折频率为 $f_{SI}/32 = 15.625$ kHz。

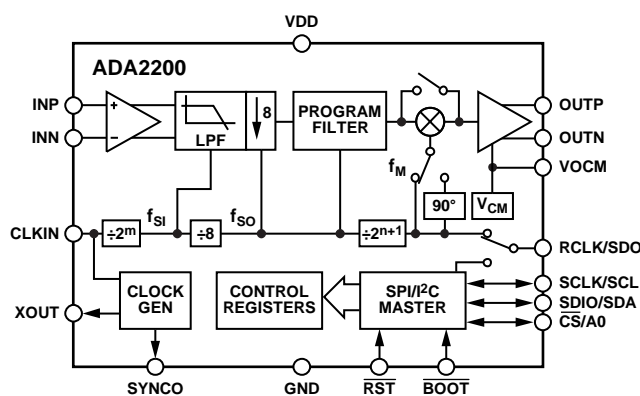


图1. ADA2200简化功能框图

抽取滤波器

抽取滤波器有助于防止输入混叠，并简化输入混叠要求。如图2所示，如果不使用抽取滤波器，那么高于奈奎斯特频率($f_{SO}/2$)的所有镜像都会混叠到通带上。例如，输入信号频率的输出 f 等于输入信号频率 $f + f_{SO}$ ，并且不可能仅仅通过查看输出就区分这两者。

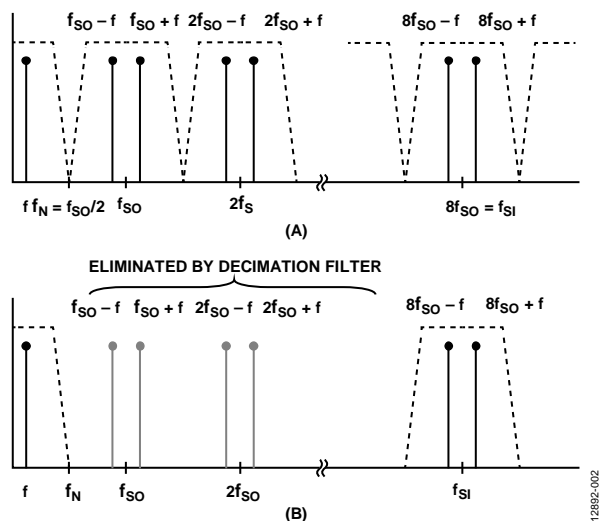


图2. 采用抽取滤波器抑制混叠

抽取滤波器可消除 $f_{SO}/2$ 以上及 $f_{SI} - f_{SO}/2$ 以下的一切镜像。如果预计会有大信号进入这个较高的频段内，那么可能有必要在ADA2200输入端之前添加一个抗混叠滤波器。如果前级的频率成分有限，那么使用一个简单的RC网络便可以增加额外的混叠抑制功能。

抽取滤波器的传递函数如图3所示。可以看出，若信号频率高于 $f_{SO}/4$ (奈奎斯特频率的一半)，那么就会产生极大衰减，同时引起线性相移。设计可编程滤波器时，需考虑到这种滚降和相移。

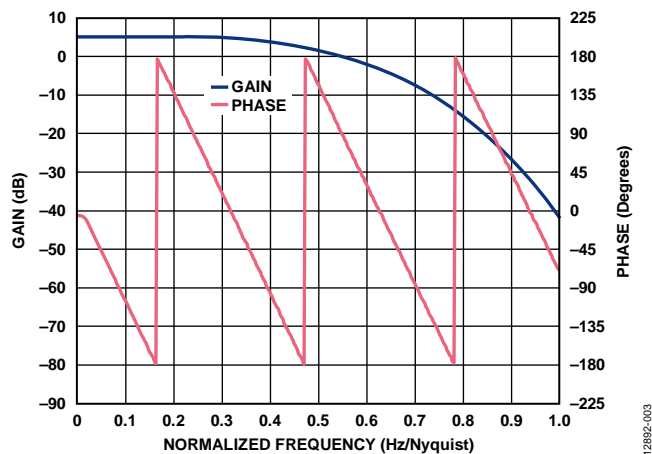


图3. 抽取滤波器的传递函数

禁用抽取滤波器

可以禁用抽取滤波器，但这样做无法停止抽取操作。禁用抽取滤波器后，输入采样发生在相同的速率下，即 f_{SI} ，并且可编程滤波器模块继续以输入速率的 $1/8$ 对抽取模块的输出进行采样。因此，IIR的最高工作频率将继续等于 $f_{SI}/8$ 。

禁用抽取器的结果是消除抽取器滚降和由此引起的相移。当无需进行额外抗混叠时，可能会用都此功能。

向寄存器0x027位6写入逻辑1可禁用抽取器。

IIR可编程滤波器

IIR滤波器是一种递归滤波器。递归与连续时间滤波器的反馈类似。由于这个原因，可以仅通过几个系数定义滤波器，但也可以创建不稳定的滤波器。默认情况下，IIR模块配置为带通滤波器，中心频率为 $f_{SO}/8$ ($f_{SI}/64$)。图4显示了默认滤波器的传递函数，包括抽取滤波器的效果。

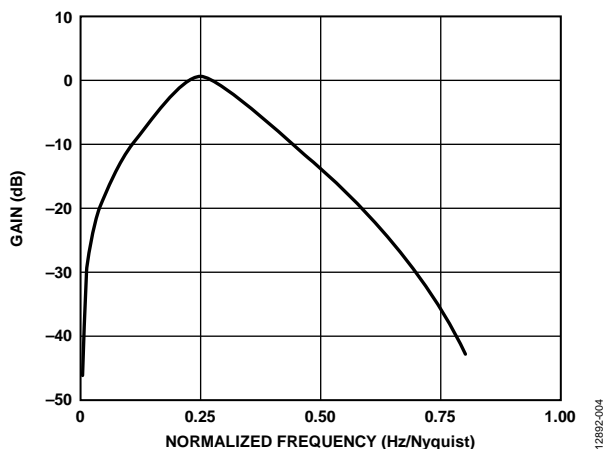


图4. 默认带通滤波器的传递函数

如需修改IIR滤波器特性，那么便有必要更改默认滤波器定义，该定义保存在内部存储器中，位置为寄存器0x0011至寄存器0x0027。注意，虽然这些寄存器的内容定义了滤波器特性，它们并不表示实际滤波器系数；但ADA2200内部配置所生成的系数表示所需滤波器。有关如何访问这些寄存器以及改变其内容的详细说明，请参见“IIR滤波器编程”部分。

频率调整

由于ADA2200是一款采样模拟技术器件，其频率特性直接与时钟频率相关。因此，诸如转折频率、通带中心频率或奈奎斯特频率位置等参数取决于驱动器件的时钟频率。这个基本属性自然会导致这样的结果，即该器件可以通过改变时钟频率或使用片内时钟分频器而调整这些滤波器。因此，用户可以扫描频率、将滤波器锁定至某个源以实现相干滤波，或者在无需对器件进行重新编程的情况下改变转折频率。

例如，中心频率为 $f_C = 0.4 f_N$ 的四阶低通滤波器其转折频率可计算如下：

$$f_C = 0.4 \times 0.5 f_{SO} = 0.4 \times 0.5 \times 0.125 f_{SI} = 0.025 \times 2^{-m} f_{CLK}$$

其中：

m 是时钟频率的分频值，可取1、2或8。

f_{CLK} 是施加到CLKIN的时钟信号频率。如果 $f_{CLK} = 500$ kHz且 $m = 1$ ，则转折频率位于12.5 kHz， $f_{SO} = 62.5$ kHz且 $f_N = 31.25$ kHz。若其它参数不变，降低时钟频率至100 kHz将使中心频率向下移至2.5 kHz。

注意，带通滤波器或阻带滤波器将保持常数Q。这意味着，假如频率翻倍，则通带宽度也会翻倍。在陷波的例子中，阻带翻倍。这种效应如图5所示。

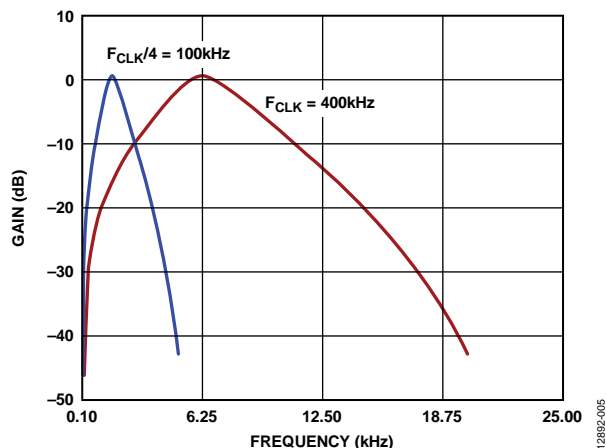


图5. 调整带通滤波器时钟频率的效果

降低时钟频率的额外好处，是这样做可以降低功耗，因而系统根据目标带宽调整。

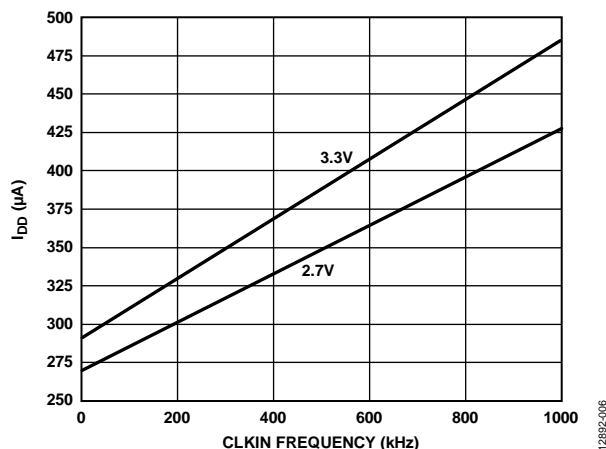


图6. 典型吸电流与CLKIN频率的关系 ($V_{DD} = 2.7$ V和3.3 V)

相干滤波和参考时钟

某些应用——特别是涉及到带通滤波器或陷波的应用——要求目标信号(或抑制信号)精确落在滤波器的中心频率上。信号与中心频率之间的任何不匹配(设计容差、时间和温度漂移、以及干扰源的不确定性等因素造成的)可能会导致带通应用中的意外衰减和相位误差。对于陷波滤波器(或带阻滤波器)而言,这些不匹配限制了干扰抑制的有效性,使完全消除干扰信号变得极为困难。图7显示了两个不同的陷波滤波器。需使用窄带陷波,以免影响相邻频率;但若干扰信号与中心频率不匹配,则其有效性远低于较宽的陷波。

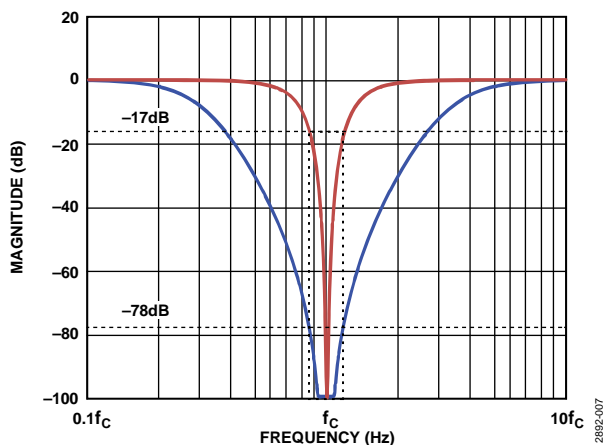


图7. 陷波频率和干扰信号之间的不匹配限制阻带有效性

如果目标信号已知,则可用它来生成时钟信号,驱动ADA2200。作为替代方案,参考时钟可用来生成目标信号的时基、用作同步信号、或者作为实际信号所需的激励源(举例而言)。ADA2200和目标信号之间的同步保证了它将始终落在滤波器的中心频率。

输出信号重构

ADA2200 OUTP和OUTN端上的输出电压等于并联电容组合上的电压,因此该数值会在下一个更新周期到来之前保持不变。由于这个原因,输出信号由一系列离散时间阶跃组成,如图8所示。

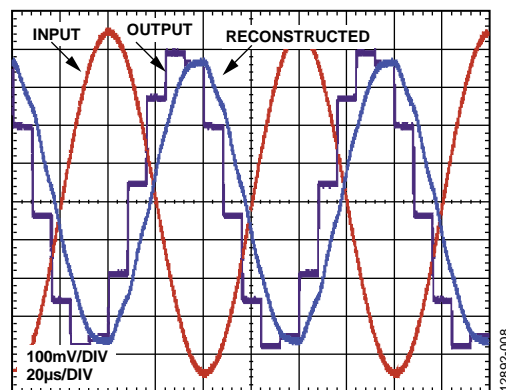


图8. 输入、输出和重构波形

在一个连续时间系统中,阶跃序列产生的镜像频率为输出更新速率的数倍。图8可以看到这一效应;图中的垂直线是由于输出带宽有限所造成的(引脚驱动器是一款连续时间器件)。高频镜像可通过跟踪输出阶跃范围内的正弦波形,然后将其扣除而显现。形成的锯齿波是基波频率的倍数,它是典型的干扰伪像。为了减少连续时间系统中的干扰镜像,需在输出端使用重构滤波器,如图9所示。

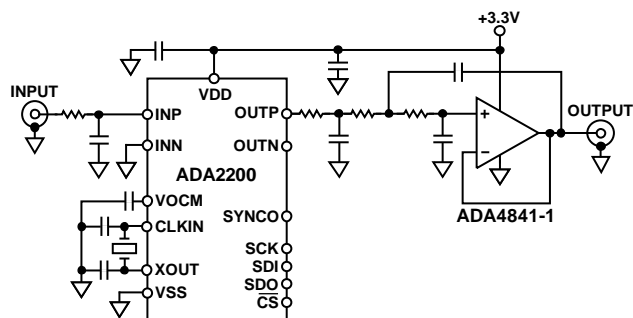


图9. 添加一个二阶重构滤波器

与离散时间系统(比如SAR ADC)对接时,如果后续器件的采样器与输出同步,则无需使用重构滤波器。例如,假设一个SAR ADC针对每一次ADA2200的输出更新只采样一次,那么信号无需重构,并且所有高频镜像将会消失;ADC将无从知晓曾经有过镜像。

ADA2200通过SYNCO端产生输出脉冲，可供微处理器或者直接供ADC使用，以执行一次ADA2200输出的模数转换。SYNCO信号通过产生频率等于输出更新速率 f_{SO} 的脉冲，来确保在ADA2200输出采样窗口期间的最佳时刻进行ADC采样。可以配置脉冲极性，并调节16个不同的时序延迟之一，如图10所示。时序延迟间隔为 $\frac{1}{2}f_{SI}$ 时钟周期间隔，范围为整个输出采样窗口。选择相对输出更新而言适当的延迟可保证信号的正确建立，避免ADC馈通误差。SYNCO脉冲的配置设置(比如极性和延迟)位于寄存器0x0029。

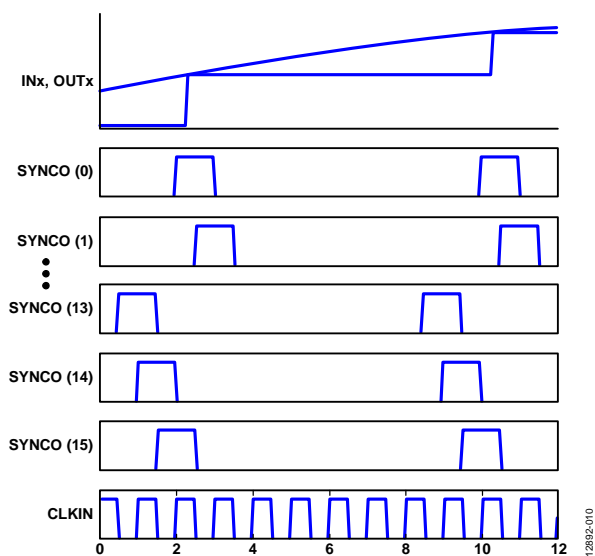


图10. 相对于OUTP/OUTN、INP/INN和CLKIN的SYNCO输出时序

过滤超出奈奎斯特频率的信号

ADA2200建议最大输入采样频率为1 MHz(等效于时钟分频器设为1时的时钟频率)，理论上这会将其带宽限制为 $f_{SO}/16$ 或62.5 kHz。由于ADA2200的输入信号带宽为4 MHz，该频率即为ADA2200可接受的最高输入频率。然而，任何这类信号都将在输出端被执行下变频，并受 $f_{SO}/2$ 限制(输出更新速率的奈奎斯特频率)。换句话说，对于超出奈奎斯特的频率，可利用输入端的采样属性，将ADA2200用作滤波器和下变频混频器。

例如，假定ADA2200对输入端的采样频率为 $f_{SI} = f_{CLK} = 500$ kHz，且滤波器中心频率配置为7.8 kHz，通带范围为6 kHz至10 kHz。如果使能抽取器滤波器，则在中心频率(比如492.2 kHz、507.8 kHz、992.2 kHz、1.0078 MHz、1.4922 MHz)附近的滤波器带宽为4 kHz。因此，如果ADA2200的输入端出现一个频率为3.992 MHz的信号，那么在输出端将出现8 kHz信号。对于本例，中心频率为3.9922 MHz的滤波器镜像其等效Q差不多等于1000。

必须注意，无论何种情况下，始终会有低于和高于 f_{SI} 任意倍的相邻滤波器镜像，因而设计人员必须考虑可能出现混叠现象。此外，频率越高，抗混叠滤波器所需的Q值也越高。

IIR滤波器编程

如需通过SPI端口编程滤波器，可初始化一个写入周期，以便将新的滤波器定义传输至ADA2200中地址范围从0x0011到0x0027的寄存器。如需获得滤波器选项列表及其相应寄存器值，请参见表2。载入滤波器值后，向寄存器0x0010写入0x03以便采用新的滤波器配置ADA2200。有关通过SPI端口实现对接的更多信息，请参见ADA2200数据手册。

如需在启动期间或复位之后通过外部EEPROM编程ADA2200，则有必要将地址范围从0x0011到0x002B的存储器配置信息(包括滤波器定义和其它寄存器配置)预载入EEPROM中。有关默认存储器内容和预定义滤波器设置，请参见表2。有关编程ADA2200的详细指南，请参见ADA2200数据手册中的“器件配置”部分。

本指南采用ADA2200-EVALZ，通过EEPROM编程器重写板载EEPROM的方式进行滤波器测量。每一项配置的EEPROM内容均与表2相同，位置从偏移0x00处开始。加载X1上的已编程EEPROM并设置EEPROM_BOOT开关，可在电路板施加电源后自动加载新的滤波器。

测试设置如图11所示。任何活跃的USB端口均可向电路板供电。所有滤波器均相对于400 kHz板载振荡器进行设置。AD8476-EVALZ和EVAL-INAMP-82RZ上的AD8429将网络分析仪上的单端端子耦合至ADA2200。有关ADA2200-EVALZ板的更多详情和电路原理图，请参见ADA2200-EVALZ用户指南。

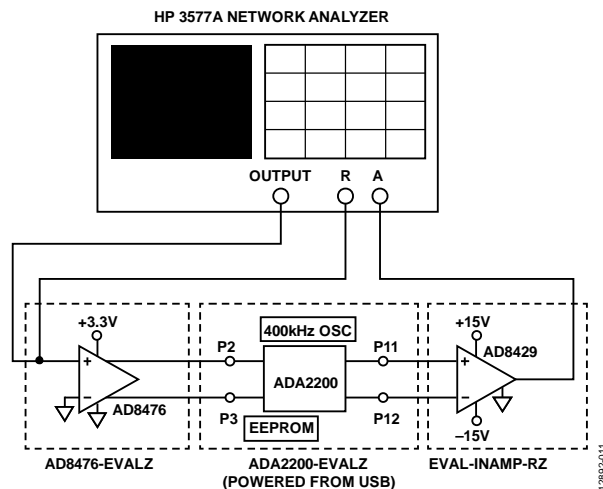


图11. 采用ADA2200-EVALZ的测试设置

ADA2200配置为时域滤波器的建议寄存器内容如表2所示。

表2. 不同滤波器的建议寄存器内容

ADA2200地址	寄存器名称	BP1	BP2	LP1	LP2	陷波	默认	全通	外部EEPROM地址 ¹
0x0011	滤波器配置	0xC0	0xC0	0x52	0x51	0xC0	0xC0	0x00	0x000
0x0012		0x0F	0x0F	0xAE	0x80	0x4F	0x0F	0xA0	0x001
0x0013		0x36	0xFA	0x52	0x40	0x84	0x1D	0xC0	0x002
0x0014		0xD1	0xD5	0xA6	0x80	0x9B	0xD7	0x0F	0x003
0x0015		0xC0	0xC0	0x52	0x51	0xC0	0xC0	0xC0	0x004
0x0016		0x0F	0x0F	0xAE	0x80	0x0F	0x0F	0x0F	0x005
0x0017		0x07	0x15	0x74	0x56	0xC0	0xC0	0xC0	0x006
0x0018		0x80	0x92	0x81	0x10	0x0F	0x0F	0x0F	0x007
0x0019		0x07	0x15	0x74	0x56	0x84	0x1D	0xC0	0x008
0x001A		0x80	0x92	0x81	0x10	0x9B	0x97	0x0F	0x009
0x001B		0x00	0x00	0x4E	0xC8	0x36	0x7E	0xC0	0x00A
0x001C		0x20	0x20	0x9D	0xA0	0x14	0x88	0x0F	0x00B
0x001D		0xC0	0xC0	0x22	0x97	0xC0	0xC0	0xC0	0x00C
0x001E		0x4F	0x4F	0x53	0xD9	0x0F	0x0F	0x0F	0x00D
0x001F		0xAA	0xB2	0x4F	0xED	0xC0	0xC0	0xC0	0x00E
0x0020		0xAA	0x2F	0x80	0x12	0x0F	0x0F	0x0F	0x00F
0x0021		0xC0	0xC0	0xC0	0xC0	0xC0	0xC0	0xC0	0x010
0x0022		0x0F	0x0F	0x0F	0x0F	0x0F	0x0F	0x0F	0x011
0x0023		0xC0	0xC0	0xF1	0x00	0xC0	0x00	0xC0	0x012
0x0024		0x4F	0x4F	0xDE	0xE0	0x4F	0xE0	0x0F	0x013
0x0025		0x23	0x23	0x23	0x23	0x23	0x23	0x23	0x014
0x0026		0x02	0x02	0x02	0x02	0x02	0x02	0x02	0x015
0x0027		0x02	0x02	0x12	0x06	0x07	0x24	0x00	0x016
0x0028		模拟引脚配置	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x017
0x0029		同步控制	0x0D	0x0D	0x0D	0x0D	0x0D	0x2D	0x018
0x002A		解调控制	0x08	0x08	0x08	0x08	0x08	0x08	0x019
0x002B		时钟配置	0x02	0x02	0x02	0x02	0x02	0x02	0x01A

¹ EEPROM在ADA2200-EVALZ上的X1位置载入。

下列曲线显示表2中滤波器的传递函数特性。

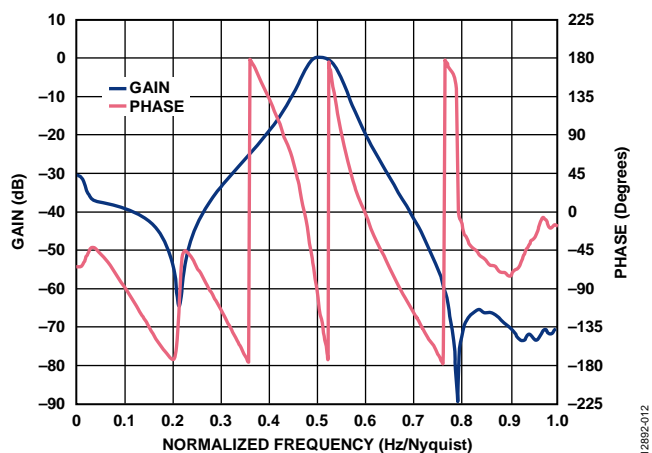


图12. BP1滤波器传递函数

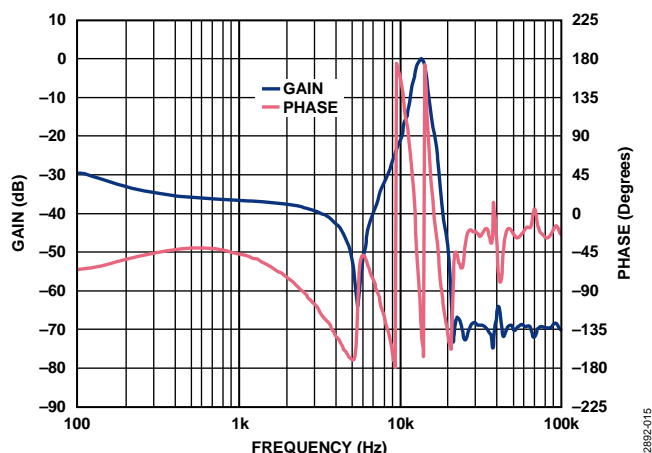


图15. BP1滤波器传递函数(对数扫描, $f_{CLKIN} = f_{SI} = 400$ kHz)

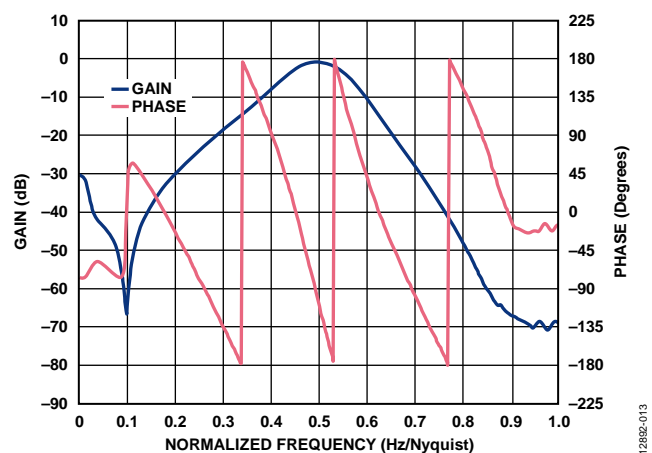


图13. BP2滤波器传递函数

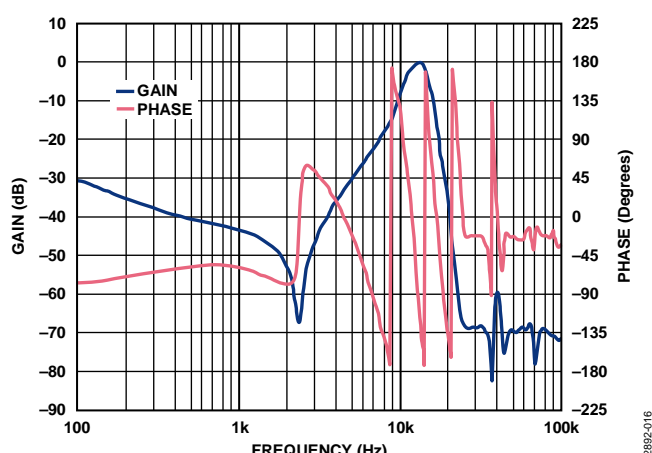


图16. BP2滤波器传递函数(对数扫描, $f_{CLKIN} = f_{SI} = 400$ kHz)

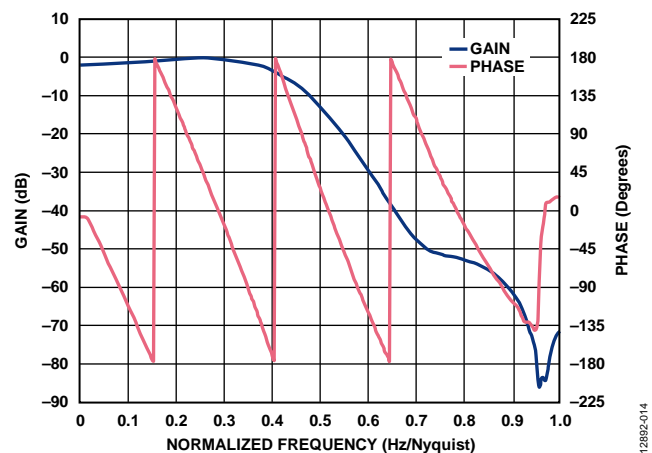


图14. LP1滤波器传递函数

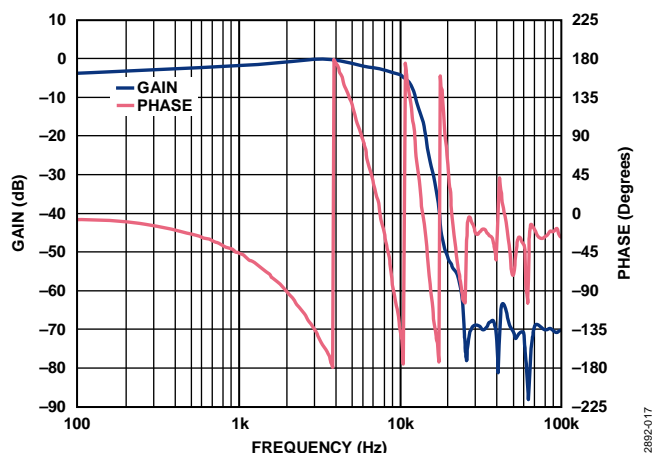


图17. LP1滤波器传递函数(对数扫描, $f_{CLKIN} = f_{SI} = 400$ kHz)

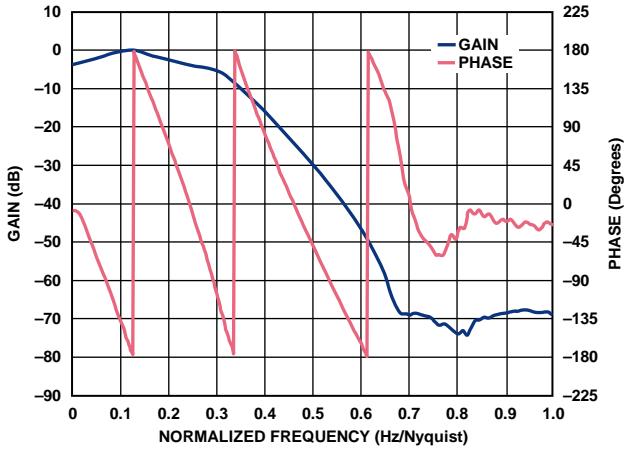


图18. LP2滤波器传递函数

12892-018

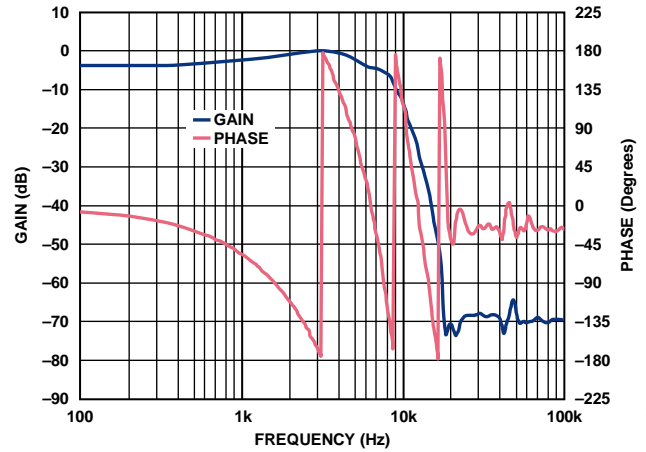


图21. LP2滤波器传递函数(对数扫描,
 $f_{CLKIN} = f_{SI} = 400$ kHz)

12892-022

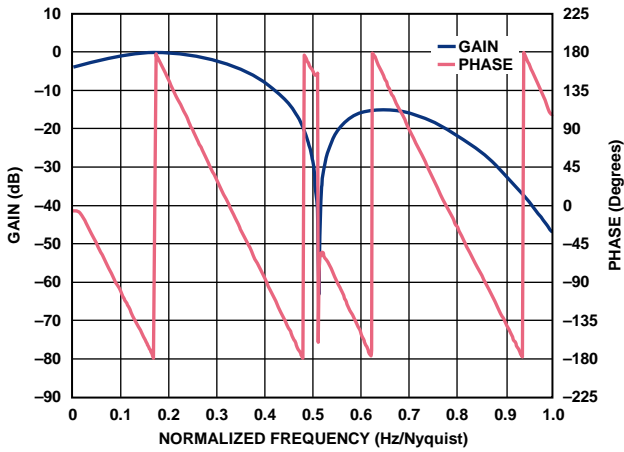


图19. 陷波滤波器传递函数

12892-019

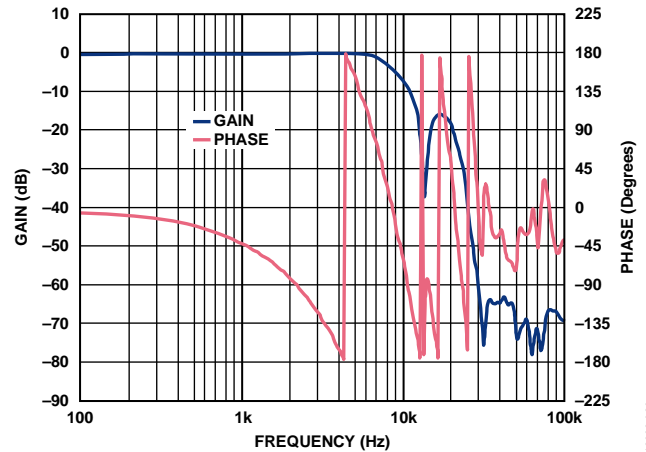


图22. 陷波滤波器传递函数(对数扫描,
 $f_{CLKIN} = f_{SI} = 400$ kHz)

12892-023

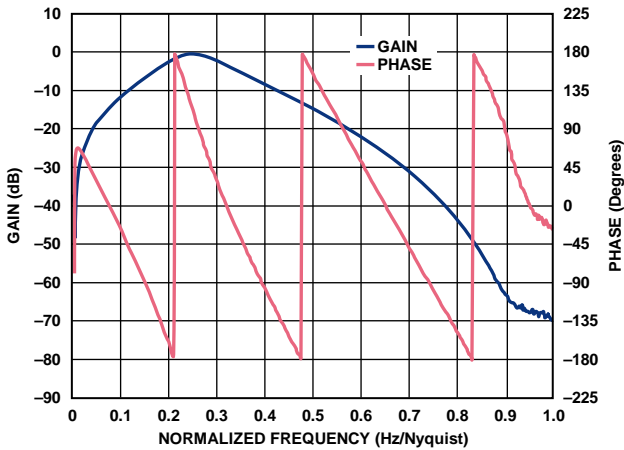


图20. 默认滤波器传递函数

12892-020

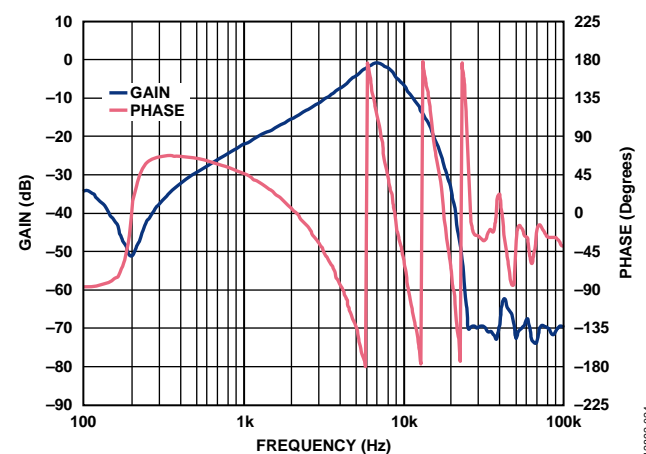


图23. 默认滤波器传递函数(对数扫描,
 $f_{CLKIN} = f_{SI} = 400$ kHz)

12892-024

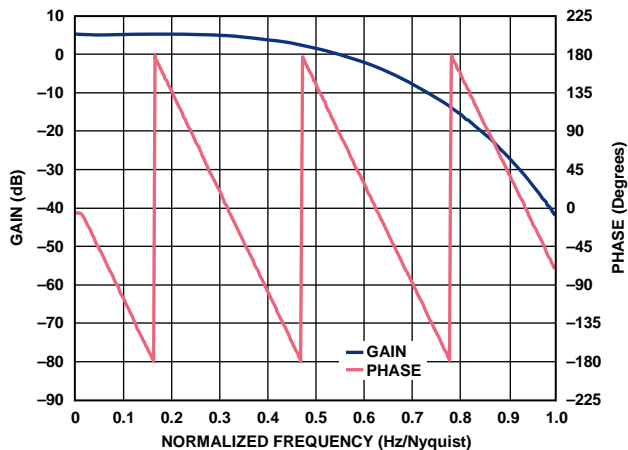


图24. 全通滤波器传递函数(抽取器使能)

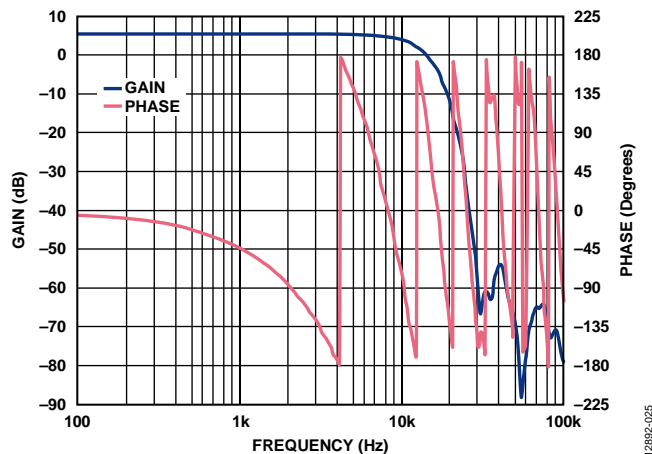


图25. 全通滤波器传递函数(抽取器使能, 对数扫描, $f_{CLKIN} = f_{SI} = 400$ kHz)

修订历史

2014年12月—修订版0: 初始版