

如何通过前端将PC声卡变成高速采样示波器

作者: Doug Mercer

有多种软件包可以使个人计算机(PC)中的立体声声卡提供类似示波器的显示,但低采样速率、高分辨率模数转换器(ADC)和交流耦合前端最适合 20 kHz 及以下的可用带宽。现在,这种有限的带宽可以扩展——针对重复波形,可以在声卡输入前使用一个采样前端。利用高速采样保持器(SHA)对输入波形进行二次采样,然后通过低通滤波器重建波形,并使其平滑,可以有效延展时间轴,使 PC 能够用作高速采样示波器。本文描述一种能够实现这种改造的前端和探头。

图 1 所示为一个插入式附件的原理图,它可以配合典型PC声卡采样使用。每个示波器通道使用一个高速采样保持放大器 AD783。SHA的采样信号由时钟分频器电路的数字输出提供,下文将通过一个例子说明。AD783 输入由一个FET缓冲,因此可以使用简单的交流/直流输入耦合。在所示的两个通道中,当直流耦合跳线开路且输入为交流耦合时,1 M Ω 电阻 (R1 和 R3) 提供直流偏置。采样输出由图中所示的双极点有源RC网络低通滤波。该滤波器不必是一个有源电路,但所示的滤波器能够提供有益的缓冲低阻抗来驱动PC声卡输入。

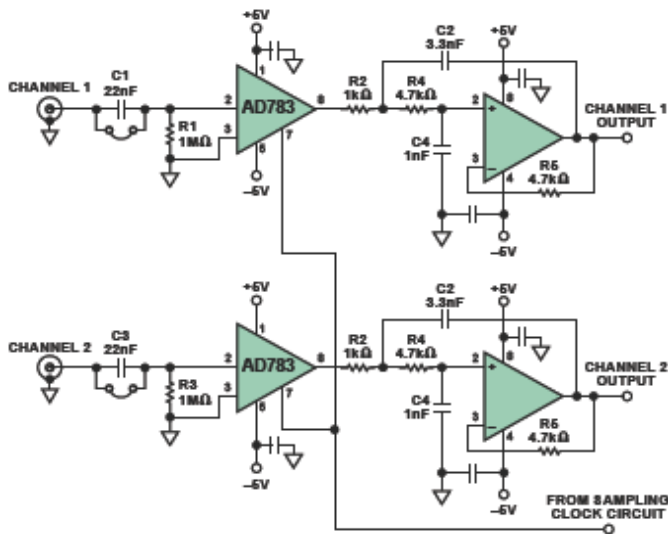


图 1. 双通道模拟采样电路

AD783 SHA 提供高达数 MHz 的可用大信号带宽。输入端的有效压摆率约为 100 V/ μ s 以上。采用 ± 5 V 电源时,输入/输出摆幅至少为 ± 3 V。对于 500 mV p-p 以下的摆幅,小信号 3 dB 带宽接近 50 MHz。

利用图 1 所示的前端电路以及采用 Visual Analyser¹ 软件的 PC 声卡,可以得到一个以 1 MHz 频率重复的 2 MHz 单周期正弦波,如图 2 的屏幕截图所示。采样时钟以 80.321 kHz 的采样速率提供 250 ns 宽的采样脉冲。这里的有效水平时基为 333 ns/

分频比。例子中使用的 PC 声卡采用 SoundMax[®] 编解码器,其采样速率为 96 kSPS。本例中,有效采样速率约为 40 MSPS。

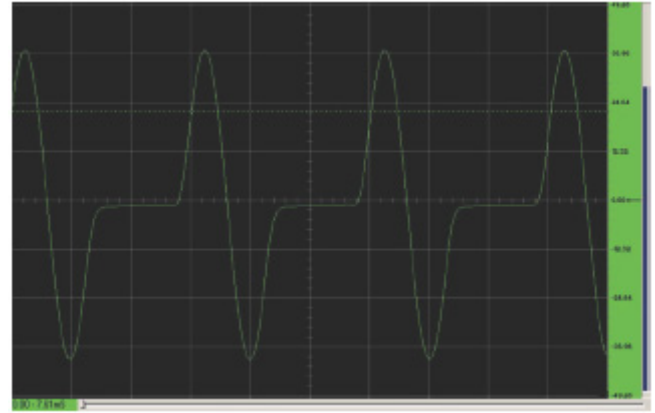


图 2. 以 1 MHz 频率重复的 2 MHz 单周期正弦脉冲

图 3 中的屏幕截图显示的是一个以 1 MHz 频率重复的高斯正弦脉冲。采样时钟速率同样是 80.321 kHz, 采样脉冲宽度为 250 ns。



图 3. 以 1 MHz 频率重复的 4 MHz 高斯正弦脉冲

采样时钟发生器示例

AD783 要求一个宽度为 150 ns 至 250 ns 的窄正采样脉冲。为使显示的波形保持稳定,无来回跳动,采样脉冲必须非常稳定,抖动很低。这一要求往往将可能的时钟选择限定于晶体振荡器。另一个要求是采样速率可以在略低于 100 kHz 到大约 500 kHz 的范围内进行调整或调谐。为使下采样信号落在声卡的 20 Hz 到 20 kHz 音频带宽内,采样频率间的调谐步进必须较为精细。一个诸如图 4 所示的 N 分频电路和一个频率介于 10 MHz 到 20 MHz 的晶体振荡器(IC4),可以提供从 80 kHz 到 350 kHz 的多达 200 种或更多的不同采样速率,步进大小介于 300 Hz 到 5 kHz 之间。本例使用两个 4 位二进制升降计数器 74HC191, N 可以是 4 到 256 之间的任意整数。也可以使用 74HC190 等十进制计数器,其引脚排列与 74HC191 相同,可以提供 4 到 100 的 N 值。分频比利用两个十六进制开关 S1 和 S2 设置。开关 S3 设置计数器是递增还是递减计数。电阻 R1 (250 Ω) 和电容 C1 (68 pF) 给引脚计数输出增加一个很短的延迟,经过该延迟后,引脚计数输出加载起始计数值。74HC00 的四个 NAND 门用于实现单稳态模式,当 R12 为 2.7 k Ω 且 C2 为 68 pF 时,单稳态模式提供 200 ns 的采样脉冲。

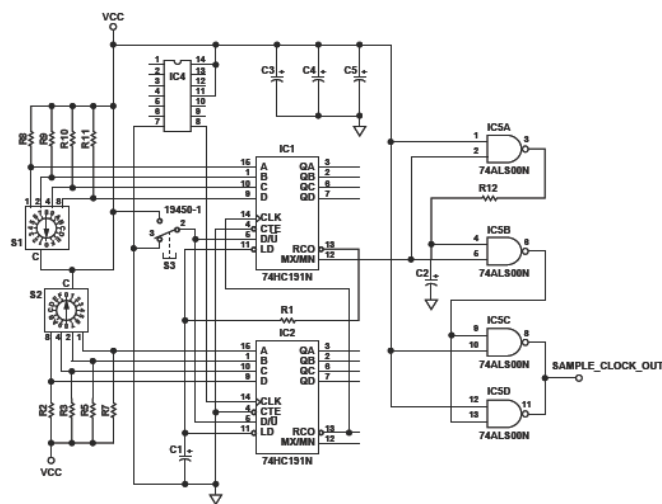


图 4. 采样时钟分频器电路

IC4 是固定频率金属帽壳晶体振荡器。另一种方法是使用 CMOS 反相器(74HC04)和分立晶体 X1 来构成一个振荡器, 如图 5 所示。这种方法使用的元件虽然多于一体式金属帽壳振荡器, 但它支持通过调整电容 C1 来调节晶体频率, 从而实现精密的频率调谐。

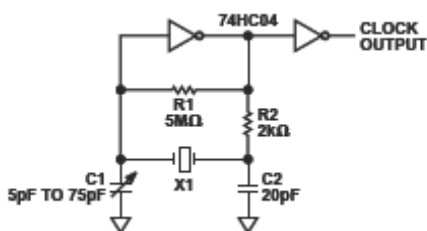


图 5. 采用机械调谐方式的分立晶体振荡器

为了消除机械可变元件, D1 可以使用变容二极管, 其电容取决于电压, 如图 6 所示。

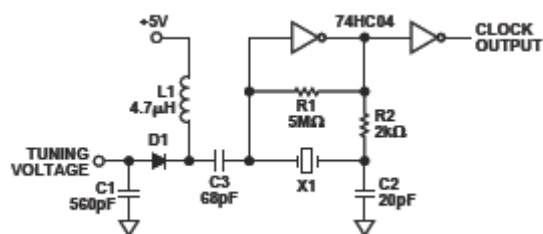


图 6. 采用电压调谐方式的分立晶体振荡器

有源重构滤波器示例

图 7 和图 8 所示为有源滤波器设计, 它们应能很好地代替简单的无源 RC 滤波器。图 7 显示的是一个二阶 Sallen-Key 滤波器, 转折频率约为 39 kHz, 使用标准电阻和电容值。双通道运算放大器 AD8042 和 AD822 具有低电源电压和宽摆幅特性, 是很好的选择。该滤波器在通带内的增益为 +1。

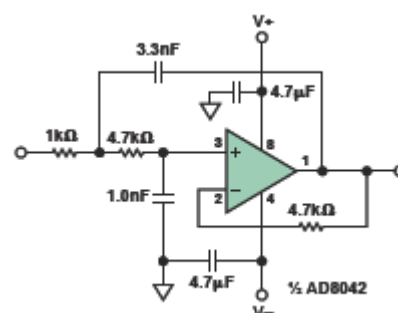


图 7. Sallen-Key 39 kHz 低通滤波器

图 8 显示的是一个二阶多路反馈(MFB)滤波器, 转折频率约为 33 kHz, 使用标准电阻和电容值。该滤波器的通带增益为 -1, 因此, 使用该滤波器时, 为使显示的波形右侧朝上, 应选择示波器软件上的“反相”按钮。

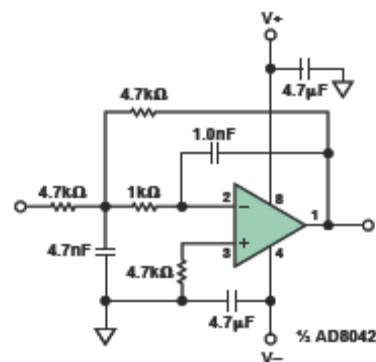


图 8. MFB 33 kHz 低通滤波器

电路供电

重构滤波器使用的 AD783 和放大器需要双电源供电。可以使用 6 节 AA 电池, 3 节提供+4.5 V 电源, 另外 3 节提供-4.5 V 电源。或者, 也可以使用单个 9 V 电池, 利用一个电阻分压器来提供作为地的中间电源电压, 这将需要由一个运算放大器进行缓冲才能提供电路所需的地电流。第三种方法是使用一个可调线性调节器, 产生相对于电池负极的约 4.5 V 电压, 用作接地基准。

第四种方法是使用备用PC或笔记本电脑USB端口提供的+5 V 电源。-5 V 电源可以由DC/DC电压逆变器产生, 例如ADI公司的ADM8829 (表贴封装)。应特别注意避免受到DC/DC电压逆变器产生的开关噪声干扰。

输入衰减器

AD783 的小信号增益远高于全摆幅带宽。通过在采样器之前插入一个 10:1 阻性衰减器以限制最大信号带宽, 可以实现远超过 20 MHz 的可用带宽。多家公司提供成本相对较低的示波器探头, 如 Syscomp Electronic Design, Ltd² 等 (图 9)。下面是笔者撰写本文时获得的信息:

- Syscomp Electronic Design 生产的 40 MHz 带宽、1×/10×可切换型示波器探头(P6040), 每对价格\$29.99。



图 9. P6040 1×/10×示波器探头

- HobbyLab³ 生产的 20 MHz 10:1 版本示波器探头 (GT-P6020), 每对价格\$19.50。
- Gabotronics.com⁴ 生产的 100 MHz P2100 和 60 MHz P2060 通用探头, 每种价格约\$10.00。

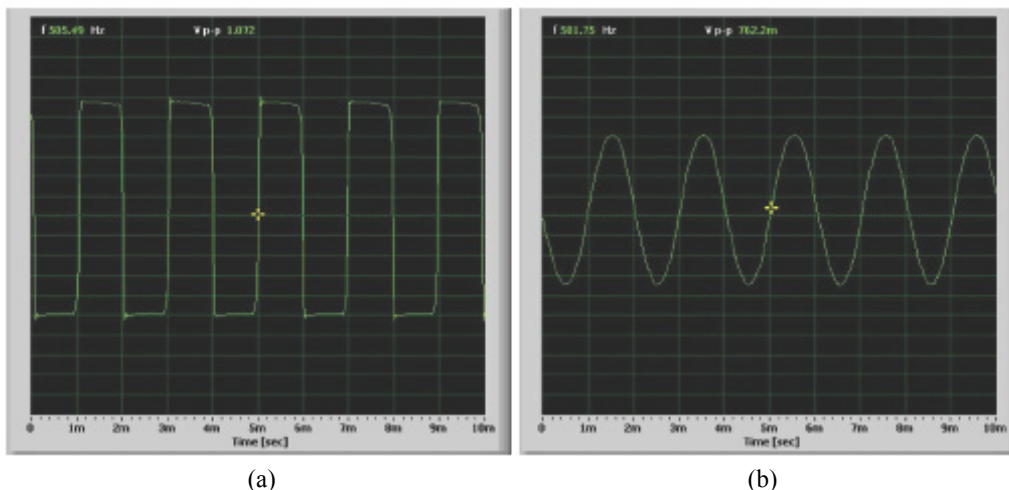


图 10. 单通道 10×探头: 1 MHz (a)和 50 MHz (b) 5 V p-p 输入方波

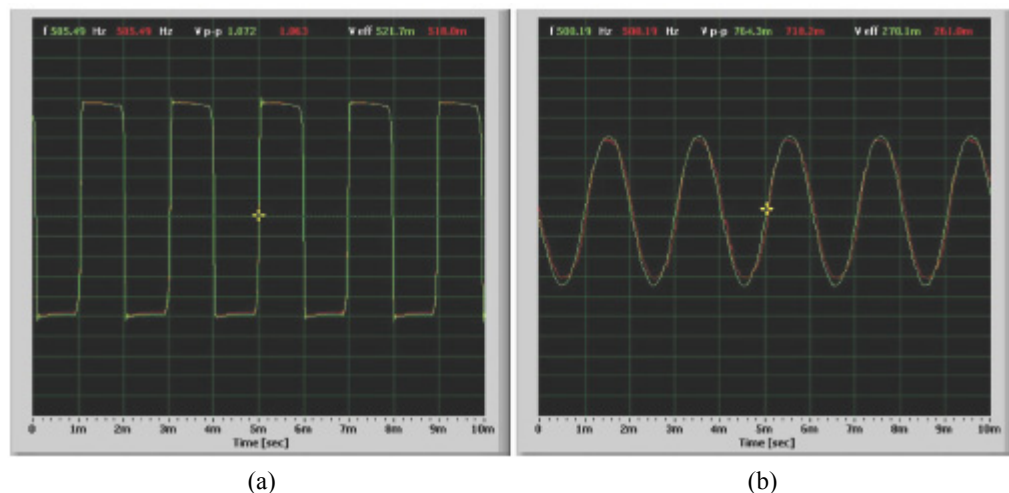


图 11. 双踪双通道匹配 10×探头: 1 MHz (a)和 50 MHz (b) 5 V p-p 输入方波

使用探头

图 10、图 11 和图 12 所示的声卡⁵ 屏幕截图利用 P2100 100 MHz 10×探头获取，它可以补偿 10 pF 至 35 pF 范围内的输入电容。对于建议的电路，如果 PCB 板线路长度尽可能保持最短，那么这个调整范围似乎是充足的。采用 10×探头时，输入看起来像 10 MΩ 和 18 pF，可以支持最高±30 V 的输入电压。

为了展示 AD783 采样保持输入级的性能，首先利用 1 kHz 平顶方波调整探头补偿。屏幕截图显示了器件对频率为 1 MHz 和 50 MHz 的不同信号的响应。图 10 中的两个屏幕截图显示单通道情况，(a)为 1 MHz、5 V p-p 方波，(b)为 50 MHz、5 V p-p 方波。每种情况下，采样时钟均针对大约 500 Hz 的下采样信号频率进行调整，以便消除任何声卡响应差异。因此，左边屏幕截图的有效时间刻度为 500 ns/分频比，右图为 10 ns/分频比。声卡输入增益设置如下：对于 1 MHz 输入，示波器软件报告 1.072 V p-p 的幅度；对于 50 MHz 输入，则报告 762.2 mV p-p 的幅度。0.7622/1.072 接近 -3 dB。这一测量结果显示，100 MHz 10×探头和 AD783 的组合具有 50 MHz 的 3 dB 带宽。

图 11 中，同样的 1 MHz (a)和 50 MHz 信号(b)被施加于两个通道。从两个通道的两幅重叠屏幕截图可以看出，两个通道之间具有良好的增益、失调和延迟匹配。

最后一幅屏幕截图 (图 12) 显示 375 kHz、5 V p-p 方波 (红色线) 和 1.5 MHz、42 ns 宽 5 V p-p 脉冲 (绿色线) 的情况。水平刻度为 333 ns/分频比。AD783 采样器保持完整的 5 V 摆幅，即便输入这些较窄的 42 ns 脉冲也是如此。

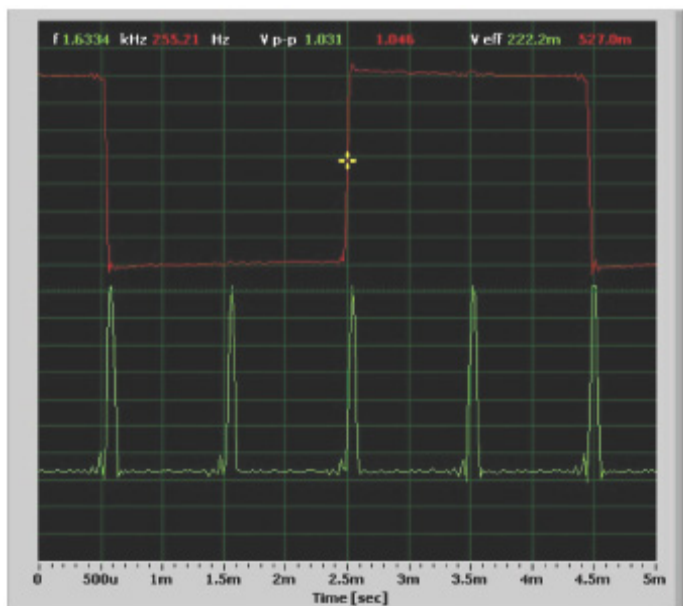


图 12. 双踪双通道、10×探头：375 kHz、5 V p-p 方波和 1.5 MHz、42 ns 5 V p-p 脉冲

参考文献

¹ Visual Analyser is a complete professional real-time software package that transforms a PC into a complete set of measurement instruments. No new hardware is necessary as it uses the PC's sound card. <http://www.sillanumsoft.org/>.

² Syscomp Electronic Design, Ltd. <http://www.syscompdesign.com/Accessories.html>.

³ HobbyLab <http://securedwithssl.com/HobbyLab-us/product/63258ffa-dcc8-4508-8152-d2461d943169.aspx>.

⁴ Gabotronics <http://www.gabotronics.com/accesories-and-cables/view-all-products.htm>.

⁵ The PC-based Soundcard oscilloscope receives its data from the sound card with 44.1-kHz sampling rate and 16-bit resolution. Also available is WaveIO, a Soundcard Interface for LabView software. http://www.zeitnitz.de/Christian/scope_en.

作者简介

Doug Mercer [doug.mercer@analog.com] 在 1977 至 2009 年间一直在 ADI 公司从事全职工作，最后 14 年担任 ADI 公司研究员。ADI 公司高速转换器产品系列的 30 多款标准产品都有他的贡献，AD783 就是其中一款。自 2009 年起，他转而担任 ADI 公司的兼职顾问研究员，最近主要是作为 ADI 公司与伦斯勒理工学院的联络人，从事本科生电气工程教育推广和发展方面的工作。

