

从直流到宽带的高速模拟信号链设计

Rob Reeder、
ADI公司

简介

目前，在转换器领域风头正盛的是GSPS ADC—也称RF ADC。凭借市场上采样速率如此高的转换器，奈奎斯特频率与五年前相比提高了10倍。关于使用RF ADC的优势，以及如何使用它们进行设计并以如此高的速率捕获数据，人们进行了大量的讨论。感谢JESD204x联盟。但是人们似乎忘了一件事情，即低直流信号。

高性能模数转换器(ADC)之前的输入配置或者前端设计，对于实现所需的系统性能非常关键。通常重点在于捕获宽带频率，例如大于1 GHz的宽带频率。然而，在某些应用中，也需要直流或近直流信号，并且受到最终用户的欢迎，因为它们也可以传输重要信息。因此，通过优化整体前端设计来捕获直流和宽带信号需要直流耦合前端，该直流耦合前端一直连接到高速转换器。

考虑到应用的本质，将需要开发一个有源前端设计，因为用于将信号耦合到转换器的无源前端和巴伦本身就已交流耦合。本文以实际系统解决方案为例，概述了共模信号的重要性，以及如何正确对放大器前端进行电平转换。

共模：概述

由于对共模参数及其与设备之间的关联缺乏了解，客户仍然会提出许多技术支持问题。ADC数据表指定了模拟输入的共模电压要求。关于这方面没有太多详细信息，但为了以满量程实现额定ADC性能，必须保持适当的前端偏置。

集成缓冲器的ADC通常具有内部偏置共模(CM)电平，此电平是电源的一半加上二极管压降($AVDD/2 + 0.7\text{ V}$)。不需要外部电路对此电路进行偏置，但必须保持共模电平才能正确使用转换器。对于无缓冲的(开关电容输入)转换器，共模偏置通常是模拟电源的一半，即 $AVDD/2$ 。可通过多种方式由外部提供。部分转换器具有一个专用引脚，允许设计人员通过几个与模拟输入相连的电阻来提供偏置。或者，设计人员可以将内部偏置连接到变压器的中心抽头，或者可以使用电阻分压器分离模拟电源(电阻从模拟输入的每个端脚连接到 $AVDD$ 和接地)。在使用转换器的 V_{REF} 引脚之前，请查阅制造商的数据手册或咨询应用支持小组，因为许多基准信息并未提供，不能在无外部缓冲器的情况下提供共模偏置。这很诱人，因为您需要的CM电压很容易获得，但提醒一句—不要这样做。

如果未提供或保持共模偏置，转换器将产生增益和失调误差，使总体测量性能下降。转换器可能过早削波，或者根本不会削波，因为转换器达不到满量程。在转换器之前连接放大器时，共模偏置尤其重要，特别是当应用需要直流耦合时。查看放大器的数据手册技术规格，确保放大器可以满足转换器的摆幅和共模电源要求。转换器日益趋向采用更小的工艺尺寸，因此需要更低的电源。使用1.8 V电源时，如果需要直流耦合，则放大器需要0.9 V的共模电压。使用3.3 V至5 V电源电压的放大器可能无法保持那么低的电平，但是较新的低电压放大器可以，或者设计人员可以使用分离电源并在VSS引脚上使用负供电轨。然而，这样做时，记住其他引脚可能也需要连接到负供电轨。相关信息请参考数据手册和/或咨询直接应用支持人员。

共模：定义

我们首先来看共模电压的定义。图1显示了转换器如何查看差模与共模信号。CM电压只是信号移动的中点—参见图1。您也可以将其视为新中点或零代码—放大器，通常通过一个VOCM引脚或类似的器件，在输出端建立CM。不过要小心，这些引脚也有一定的电流和电压范围要求。最好查阅一下放大器数据手册，并且/或者使用不会使电路内部的任何相邻电路或基准点负荷过重的稳定偏置点。不要只是分接一个转换器的基准电压引脚(V_{REF})，它通常是转换器满量程的一半。可能无法提供充分的高精度偏置。谨慎起见，也应查阅转换器数据手册上的引脚技术规格。一般而言，电阻容差1%的简单分压器和/或缓冲器驱动器之类，可正确设置放大器的CM偏置。

在下面表1中简要列出了如何连接每个应用的放大器和转换器，图2显示了一些正确的电路示例。

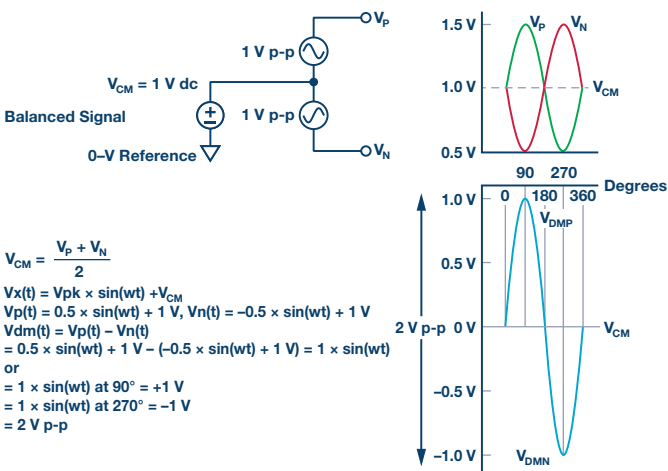


图1. 差模与共模信号示例

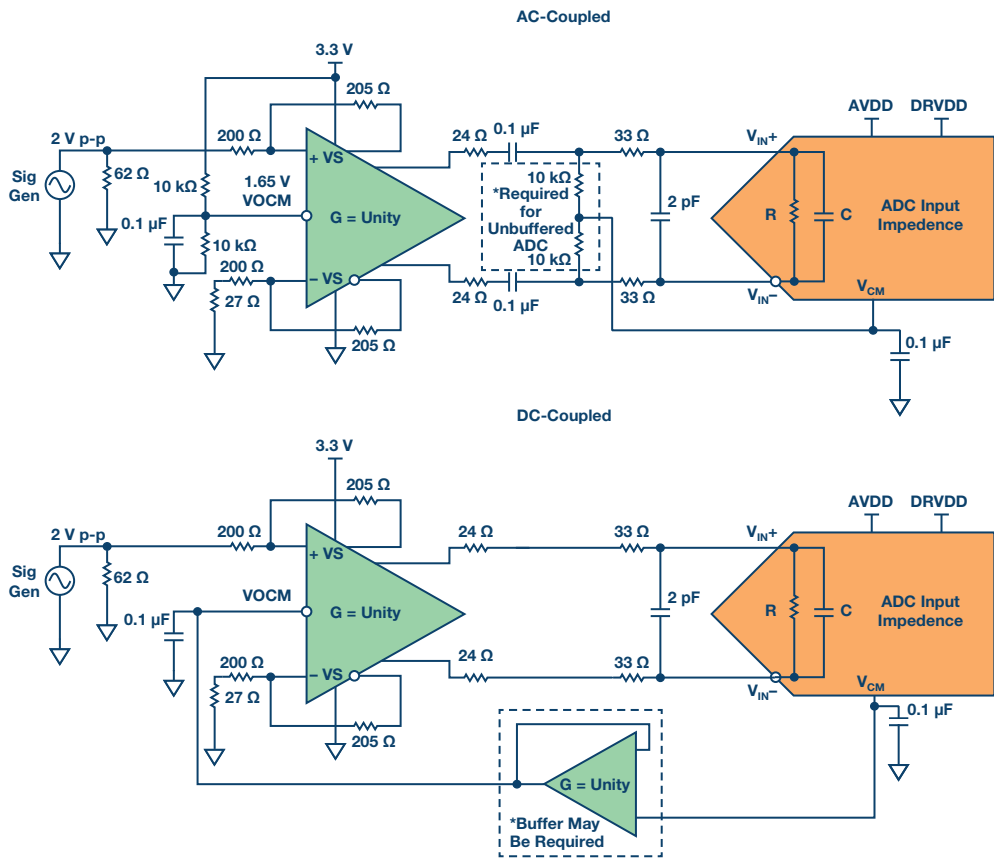


图2. 用于放大器/转换器前端的交流耦合与直流耦合应用示例

表1. 共模矩阵

应用	放大器	ADC	注释
直流耦合	在DS指定的限制范围内设置VOCM。使用来自ADC V_{REF}/CML 引脚的分压器或缓冲放大器。	不要提供CM偏置。	确保放大器和ADC CM偏置在彼此的范围内。否则，不匹配可能会导致错误。
交流耦合(具有无缓冲的ADC)	在DS指定的限制范围内设置VOCM。使用分压器或其他一些稳定的偏置点。	将 V_{IN} CM偏置设置为 $AVDD/2$ 。使用分压器或CML引脚提供CM偏置。	在放大器的输出端提供交流耦合电容。
交流耦合(具有缓冲的ADC)	在DS指定的限制范围内设置VOCM。使用分压器或其他一些稳定的偏置点。	不要提供CM偏置。 V_{IN} 引脚自偏置为 $AVDD/2 + 0.7$ 。	在放大器的输出端提供交流耦合电容。

共模：已断开

如果未提供或保持共模偏置，转换器将产生增益和失调误差，使获取的总体测量性能下降。简单地说—转换器输出将如图3所示，或者略有变化。输出频谱的形态将与过载满量程输入相似。这意味着转换器的零点偏离中心，不是最优。设计人员可能会发现转换器会较早削波或者达不到转换器的满量程。最近，由于转换器开始使用1.8 V电源和更低的电源，这一问题变得更为严重。这意味着模拟输入的CM偏置为0.9 V或 $AVDD/2$ 。并非所有的单电源放大器都支持这样的低共模电压，同时还保持相对较好的性能。但是，部分新型放大器已经适应此类电压，并在市场上有售。因此，谨慎起见，需查看哪些放大器可以用于您的新设计。并不是任何旧款放大器都能使用，因为裕量可能非常受限，并且内部晶体管可能会开始塌陷。如果将双电源与放大器配合使用，大多数情况下应该会有充足的裕量来实现适当的CM偏置。缺点是增加了一个额外的电源—可能不标准的负电源，这意味着更多的器件和更高的成本。简单的反相器电路有助于解决这一问题。

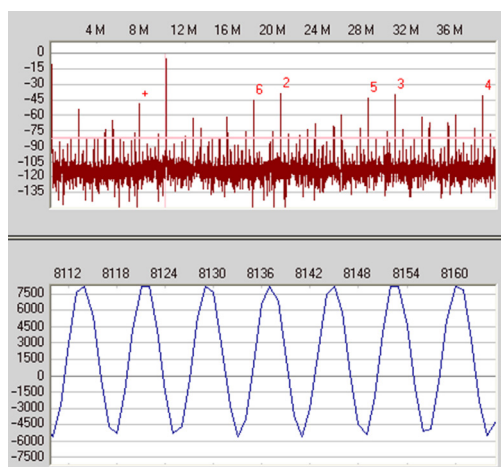


图3. 放大器和转换器之间的CM不匹配

将器件连接起来

了解共模和直流耦合之后，我们可以开始组建信号解决方案。例如，ADL5567是双通道差分放大器，增益为20 dB。它具有4.8 GHz带宽，适合连接GSPS ADC，例如AD9625，这是12位、2.5 GSPS转换器，具有JESD204B 8通道接口。图4所示为整体设置框图。

在显示的该配置中，前端接口针对宽带采样进行了优化，同时保留信号的直流成分。由于器件为+5.5 V耐压。该设计使用+3.3 V和-2 V $AVDD$ 分离电源。这使得放大器的输出端和ADC的输入端之间共模简单对齐，两者均需在 A_{IN+} 和 A_{IN-} 保持+0.525 V。同样，注意几个接地使能的放大器引脚功能(V_{SS})，单电源现强制设置为-2 V供电(新 V_{SS})。

CM电压输出很简单，但是弄清楚放大器输入的共模需求可能有点麻烦。需要为接口做两件事。第一，输入端CM电压需要配置为0 V，否则，驱动放大器失调将使输出轨偏向一侧。这将导致图3所描述的性能问题或更严重，一将出现放大器和转换器信号链交流性能不佳。为此，放大器输入端的每一侧都需要允许电流流向地面，或该直流耦合案例中2 V。因此，在每个放大器输入端添加2.2 k Ω 的电阻来抑制失调电流。

这是它的工作原理：放大器输出约为0.525 V，放大器输入CM电压为0 V。具有500 Ω 的内部反馈电阻和约50 Ω 的输入电阻使得它看起来有550 Ω ；或在本例中，我们假设一个50 Ω 源电阻与100 Ω 电阻并联，得到33 Ω 。再串联20 Ω 增加到53 Ω 。这是串联了500 Ω 内部反馈电阻或总计553 Ω 。也就是形成了500 Ω 和53 Ω 的0.525 V电阻分压器。反过来，产生了900 μ A (或 $0.525/553$)的电流。为将此分流至地面或新 V_{SS} 或-2 V，添加2.2 k Ω 电阻或-2 V/ $2.2 \text{ k}\Omega = 900 \mu\text{A}$ 。

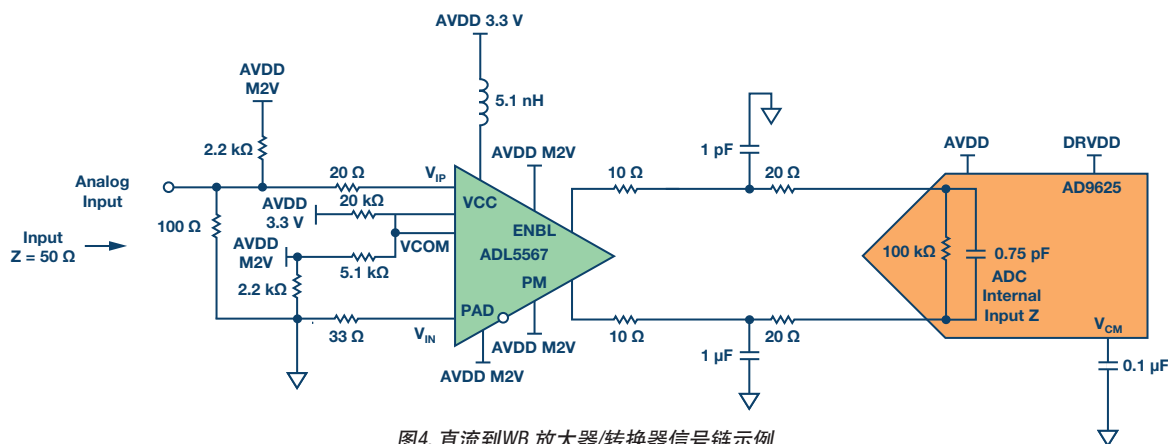


图4. 直流到WB 放大器/转换器信号链示例

第二，输入为单端输入且需要适当配置来保持最佳性能，同时维持较低偶数阶失真。同样，100 Ω 与50 Ω 源电阻有效并联，得到33.33 Ω 戴维南等效电阻，如前所述。这通常会反映在 V_{in} 节点上，来平衡设备的输入，因为它是单端驱动的。但是，为了改善偶数阶失真， V_{in+} 节点上的20 Ω 用于保持所有宽带频率的低失真。这通过使用特定中频约500 MHz完成，一或参见图5测试示例。由于它是一个迭代的过程，所以会有些乏味。有关放大器上SE到DIFF转换的计算和方程，参见ADA4932数据手册。图6中所示为信号链设计中最高2 GHz输入频率的典型交流频率扫描性能。

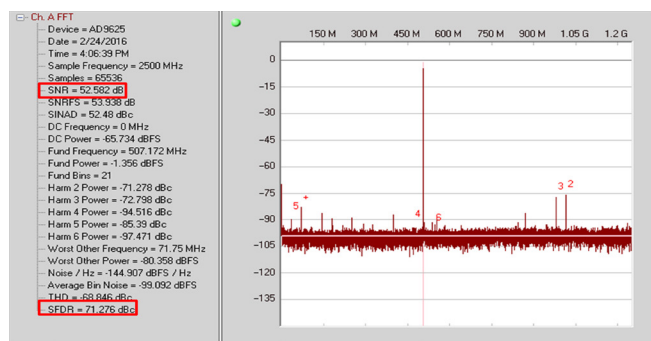


图5. 典型FFT性能@ 507 MHz A_{in} @ 2500 MSPS

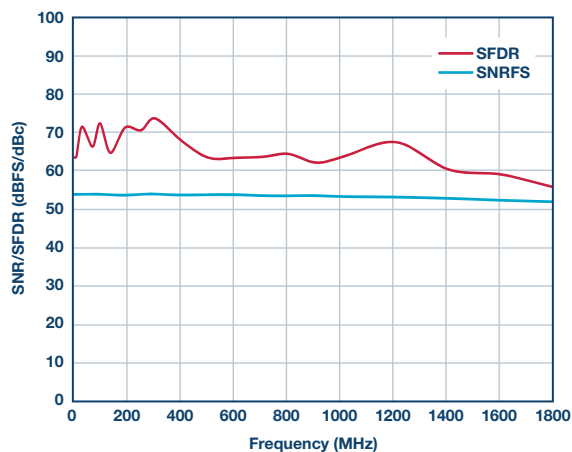


图6. 典型交流频率扫描性能@ 2500 MSPS

值得注意的是，添加了5.1 nH电感与电源的正供电轨输入串联。这有助于通过捕捉和再循环放大器内部的这些不平衡电流来再次提高偶数阶线性度性能与频率。

最后，需要针对放大器和ADC之间的前端BW优化接口。这通常也以迭代的方式完成。但是，对于两个IC之间某些值的设置有几点需注意。为了在接口中获得最佳BW，请遵循以下规则。

- ▶ 首先，根据经验和/或ADC数据手册建议，选择一个反冲电阻器(R_{KB})，(本例中为 Ω)，通常介于5 Ω 和36 Ω 之间。
- ▶ 然后，选择放大器外部串联电阻(R_A)。如果放大器差分输出阻抗在100 Ω 至200 Ω 范围内， R_A 应小于10 Ω 。如果放大器输出阻抗为12 Ω 或更低， R_A 应介于5 Ω 和36 Ω 之间。此时，为ADL5567选择10 Ω 串联电阻和阻抗为10 Ω 的差分输出。
- ▶ 放大器输出的串联与并联总电阻应与放大器的表征负载(R_L)接近。这里，图4电路中为160 Ω ，或 $2 R_A + 2 R_{KB} + R_{ADC} = 20 + 40 + 100$ 。ADL5567具有200 Ω 的 R_L ，所以如果设计值偏离放大器的 R_L 特性值太多，线性度性能可能出现偏差。
- ▶ 最后，将内部ADC电容 C_{ADC} 添加至10 Ω 串联电阻后的并联电容，来帮助完成内部ADC采样网络反冲。这也提供了软低通滤波来减少任何折回带内的宽带谐波。

有关在放大器和ADC之间形成抗混叠滤波器的更完整过程，参见CN-0227和CN-0238。

使用上述标准开发出2 GHz通带平坦度响应产品，以捕捉1st和2nd奈奎斯特区内的频率，假设采样速率为2.5 GSPS。该设计的输入驱动规格将为-8 dBm或252 mV p-p，假设在100 MHz基准频率下具有50 Ω 输入阻抗。这是放大器输入要求转换器达到满量程的输入满量程电平。

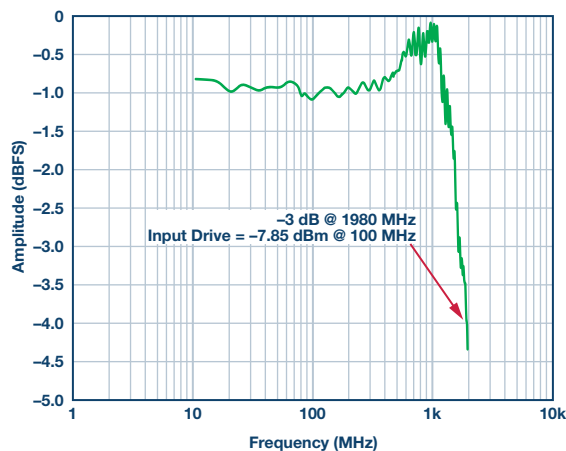


图7. 典型通带平坦度性能和输入驱动电平

结论

在任何直流耦合设计中, 忽略转换器的共模输入电压规格均可引起严重问题。如果使用了多个级别, 信号链中的共模水平必须保持一致, 以防止两个组件相互冲突。如果未正确耦合, 其中一个将经常在各级间取胜, 产生虚假测量。

对于交流耦合应用, 需在两级之间使用一个耦合电容来打破这种共模不匹配。这样设计才能够优化放大器输出和ADC输入的偏置。

否则, 系统设计中需考虑双电源或电平转换电路, 如以上直流耦合设计中的描述。如需之前的直流耦合分析, 请通过 rob.reeder@analog.com, 或Analog Devices EngineerZone®与我联系。

参考文献

Reeder, Rob. [实现放大器与ADC之间的共模融合](#)。 *Electronic Design*, 2010年7月。

[ADA4932数据手册](#)。ADI公司。

[AN-824, 放大器与开关电容ADC接口的谐振匹配方法](#)。

Bowick, Chris. [RF电路设计](#)。Newnes, 1997年2月

[CN-0227, 带抗混叠滤波器的高性能、16位、250 MSPS宽带接收机](#)。ADI公司。

[CN-0238, 带抗混叠滤波器的高性能、12位、500 MSPS宽带接收机](#)。Nuhertz Technologies, Filter Free Filter Design Program。

[高速反冲、无缓冲ADC](#)。 *Electronic Design*, 2011年7月。

[CN-0279, 集成带通滤波器的高中频采样接收机前端](#)。ADI公司。

[Quite Universal Circuit Simulator](#)。

[Nuhertz Technologies, Filter Free Design Program](#)。

作者简介

Rob Reeder是ADI公司位于北卡罗来纳州格林斯博罗的航空航天与防务部的一名系统应用工程师, 负责防务和航空航天应用工作。他发表了大量有关各种应用的转换器接口、转换器测试和模拟信号链设计的文章。Rob曾在高速转换器产品线上担任应用工程师8年之久。在此之前, Rob还从事过测试开发和模拟设计工作(效力于ADI多芯片产品集团), 拥有5年的太空、防务和高度可靠的应用模拟信号链模块设计经验。Rob于1996年和1998年分别获得北伊利诺斯州大学(伊利诺斯迪卡尔布市)的电子工程学士(BSEE)学位和电子工程硕士(MSEE)学位。Rob晚上不写文章或在实验室研究电路时, 他喜欢在健身房活动、合成电子音乐、用旧木板制作家具; 最重要的是和他的两个孩子一起放松自己。

在线支持社区



访问ADI在线支持社区, 中文技术论坛
与ADI技术专家互动。提

出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答, 或参与讨论。

请访问 ezchina.analog.com

全球总部

One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部

上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司

深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司

北京市海淀区
西小口路 66 号
中关村东升科技园
B-6 号楼 A 座一层
邮编: 100085
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司

湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA14475sc-0-9/16

analog.com/cn

