ANALOG DEVICES
超越一切可能™

放大器设计实践 125问全解

— ADI智库出品 —

ADI智库
一站式电子技术宝库

简介

放大器（Amplifier）是能把传感器输出的电压电流信号进行信号调理，使其满足模数转换器输入要求的器件，放大器也能将数模转换器的输出信号进一步扩压扩流，使信号可以驱动执行单元。在工业控制、仪器仪表、医疗、通讯、雷达、汽车、电视、个人终端、等各种装置和系统中，放大器是必不可少的组成部分。

ADI 公司专注于设计高性能放大器以及线性产品，致力于为广大放大器应用者提供权威的支持和最新的资讯。ADI 中文技术论坛开设以来，已经累积了上千条工程师网友在实际设计工作中遇到的有关放大器的技术问题及专家解答。ADI 智库对这些问答进行了精心汇总和整理，同时还增补了 ADI 工程师在为客户提供支持时收集的一些常见问题及解答，最终编撰出炉《放大器设计实践 125 问全解》，这些源自设计实践的技术问答无疑是一笔宝贵的经验和知识财富。

作为一部重要的参考资料，希望 ADI 智库独家推出的《放大器设计实践 125 问全解》电子书能为您的工作和学习提供帮助，若有纰漏之处，欢迎提出指正。

友情提示：本资料仅供参考，产品使用的实际场景问题，建议您在 ADI 中文技术社区提问或者联系中国技术支持中心寻求支持。

ADI 中文技术社区放大器专区：

https://ez.analog.com/cn/amplifiers/

ADI 中国技术支持中心联系方式：

电话：4006-100-006

邮箱：china.support@analog.com

目录

运算放大器常见问题解答

1. 双电源供电的放大器能否用于单电源配置？

Q：在 PLL 设计中使用+12/-5V 电源运行运算放大器 AD8610，发现使用+12 和 0V 也运行得很好（不管规格是什么）。我需要一些有关我这样使用此元件可能会遇到的问题。（规格为最小+5/-5V）

A：运算放大器没有接地端子。可以由对称或不对称双电源供电，也可由单电源供电。

就电源工作范围而言，+12/-5V 的供电电压类似于+17/0V 或+8.5/-8.5V。因此，+12/-5V 供电在 AD8610 的工作电压范围内。AD8610 是 JFET 输入运算放大器，这意味着它不是轨到轨输入。由于输出也不是轨到轨，因此请密切留意数据手册(https://www.analog.com/cn/products/ad8610.html)“电气规格”部分中，表 2(Vs = +/-13V)的输入和输出电压范围规格。

请记住，输入电压范围和输出电压范围的规格作为绝对电压列出，但对于+12/-5V 的供电而言，需要类比+/-13V 供电，保留电轨余量（2.25 至 2.5V）。

此外，参考电平从地电压移动到供电电压范围的中心。因此，对于+12V/-5V 的供电电压，参考电平上升到+3.5V，而对称双电源（如+/-5V 或+/-13V）为 0V。

有关输入电压范围、单电源操作或轨到轨问题的更多详细信息，也请参阅 www.analog.com/MT-035 和 www.analog.com/MT-041。

2. 如何防止过压？

Q：对于如 AD8646 这样的运算放大器，如何防止过压？

A：通常，建议您在任何可能超过绝对最大额定值的输入端添加外部肖特基二极管和限流电阻。请注意，二极管需要安装在 AD8646 的附近。理想情况下，您的系统应设计为确保 AD8646 在施加任何模拟或数字信号之前能充分上电。下面概括了一些关于过压的一般注意事项。

任何其他半导体 IC 都有基本的 ESD 保护二极管，用来保护器件免遭搬运和生产过程中可能造成的 ESD 损害。如果输入随时可能超过电源，设计人员应提供外部保护电路。

这些 ESD 二极管可保护 IC 免受高达约 1.5kV 的 ESD 影响（不同器件，ESD 等级可能不同）。这些 ESD 保护二极管的作用是将任何引脚上的电压箝位在与电源电压相差 0.5V 的范围内。（所以问题解决了，对吧？不完全是。）ESD 保护二极管虽然能承载相当高的电流，但只能维持很短的时间，因此可以保护 IC 免受持续时间较短的大脉冲影响（总能量仍然相当低）。这些保护二极管能承受的最大直流电流为 5mA。因此，除非您可以保证流入引脚的电流小于 5mA，否则就需要某种外部保护。外部保护可以是在输入引脚上串联限流电阻这样的简单设计。例如，如果施加到引脚上的最大过压为 5V，则在每条线路上串联一个 1000Ω 电阻可将电流限制在 5mA 以下。此串联电阻设置得越高越好。

然而，IO 线路中的高串联电阻可能导致其他问题，例如减缓高速信号的上升和下降时间。防止更高的过压的同时又不想再增加串联电阻，该怎么做呢？可以在每个输入端和供电之间添加外部肖特基二极管来做到这一点。肖特基二极管会将施加的电压箝位在电源的~0.3V 范围内，因此大部分电流将通过外部二极管（可承载更高的电流）分流，而不通过内部 ESD 保护二极管。其他保护技术包括使用火花隙、接地大电容、小扼流圈电感等。防止过压和 ESD 的最佳结构之一是一个小串联电阻，后面是连接到电源的肖特基二极管，再后面是另一个小串联电阻。

您可以看到，设计合适的保护电路并非轻而易举。您需要决定所需的保护程度、系统可承受的受损程度、所允许的电路板空间和元件成本，以及需要达到的测试水平。

ADI 有一类放大器产品内部集成过压保护功能，比如 LT6016。这类器件不只能实现输入的过压保护，还可以实现输出过压保护，电源过压甚至是电源反接保护等功能，详见芯片资料。

有关过压保护的更多信息，请查看 ADI 公司网站上的应用笔记 AN-202 (https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-202.pdf) 和 AN-397(https://www.analog.com/media/cn/technical-documentation/application-notes/AN-397_cn.pdf)。

3. 如何解释放大器的负载电流规格？

Q： 放大器的负载电流这个值的确切含义是什么？在数据手册中，有时给出的是+-10mA，有时仅为 10mA。

此负载电流是指放大器可以提供的最大输出电流吗？比如说，我的放大器在输出端为+-4Vp。如果数据手册中给出+-10mA 负载电流，我是否仅可以在 4V/10mA = 400Ω 的最小负载时使用？我说的对吗？

A： 放大器通常具有短路保护，可限制流出输出端的电流。通常在短路情况下会这样操作，以防止损坏放大器。但是，这并非是严格控制的参数，且未经生产测试。它随温度变化而变化，有时也因低电压供电轨而异，放大器甚至可能由于低供电电压的内部限制，而无法提供这种电流电平。不管规格中是否有+/-，都是一样的。但是，这并不意味着两个极性的实际限值会一样。没有一个输出级是完全对称的，但是由于它不是一个精确的数字，因此没有那么重要。

您指出放大器的最小负载将根据您的计算给出，这点是正确的，但仅应将其作为指导。对最小负载保持合理的裕量是良好的做法（出于上述所有原因）。此外，不要忘记，如果您使用的是带反馈的运算放大器（如同相放大器），则反馈电阻也是负载的一部分。还要谨记，在更重的负载时，放大器将产生更大的功耗，从而提高芯片温度。在您举的例子中，4V 输出端为 10mA 是指，如果您使用 15V 为放大器供电，则放大器额外消耗 11V*10mA = 110mW，这会使温度（如果是 SOIC）上升约 15℃。这不是大问题，但会限制放大器的工作温度范围，并且也可能增加与输入有关的偏置。然而，有些放大器可能具有更大的电流驱动能力，因此，如果加载至限值，功耗会大得多。

4. 信号源阻抗比较高时，如何考虑放大器噪声对电路总噪声的影响？

Q： 使用 ADA4661-2/ADA4666-2 时，争对不同的信号源阻抗，应该如何考虑不同噪声源对总噪声的贡献？

A： ADA4661-2/ADA4666-2 在 10KHz 时具有 14nV/√Hz 的低电压噪声密度。在放大器输入端放置一个热噪声为 12.6nV/√Hz 的 10KΩ 电阻，会使折合到输入端的总噪声增加到

18.9nV/rtHz。使用较低的源电阻时，放大器电压噪声将占主导地位。电阻热噪声随着源电阻的提高而增加。当源电阻进一步提高时（>1MΩ），电流噪声占总噪声的大部分。

5. 哪种电阻值可用于低噪声应用？

Q：放大器 ADA4528-x 周围应使用哪些电阻值？

A：ADA4528-x 具有 5.6nV/√Hz 的低电压噪声密度。在放大器输入端放置一个热噪声为 4nV/√Hz 的 1KΩ 电阻，会使折合到输入端的总噪声增加到 6.9nV/√Hz。请务必在低噪声放大器周围使用低值电阻。使用低源电阻，放大器电压噪声将占主导地位。电阻热噪声随着源电阻的提高而增加。当源电阻进一步提高时（>100KΩ），放大器电流噪声成为总输入噪声的主要因素。

Q：放大器 ADA4500 周围应使用哪些电阻值？

A：ADA4500 具有 14.5nV/√Hz 的低电压噪声密度。在放大器输入端放置一个热噪声为 4nV/√Hz 的 1KΩ 电阻，会使折合到输入端的总噪声增加到 15nV/√Hz。在输入端放置 4kΩ 电阻会将总噪声增加到 21.6nV//√Hz。请务必在低噪声放大器周围使用低值电阻。

6. 单电源使用时的输出摆幅

Q：如果在 AD817 运算放大器上使用+5V 和 0V 的供电轨，输出摆幅是否会下降到 0V。

A：供电轨的输出裕量要求是距离供电轨最大电压为 1.8V - 因此使用 0V 作为 VE 电轨可能仅允许您摆动到 1.8V。摆幅要下降到零，需要+/-5V 双电源。

7. 放大器的容性负载驱动

Q：规格表指出，ADA4807-2 的容性负载驱动为 15pF。ADA4807-2 能否驱动更大的电容负载？这种大的容性负载是否会使放大器不稳定？

A：是的，ADA4807-2 能驱动更大的电容负载。容性负载会对放大器的传输函数增加一个额外极点，这在很多情况下可能会影响稳定性。在这种情况下保持稳定性的常见方法是在放大器输出和容性负载之间添加一个串联电阻。对于很大的电容，只需要一

个小电阻。例如，如果使用 10uF 电容，该电容太大，以至于电容的组合 PCB 走线电阻和 ESR 会提供足够的串联电阻来保持放大器的稳定。ADA4807 数据手册的“应用”部分有关于容性负载驱动的论述。

仪表放大器常见问题解答

1. 仪表放大器的误差预算计算

Q：RTI 误差和 RTO 误差之间有何区别？如何计算它们的误差预算？

A：对于 AD8422 等具有三运算放大器架构的仪表放大器，它包含一个实现差分增益的前置放大器级和一个移除共模电压的减法器输出级。减法器的差分信号固定增益为 1（噪声增益 = 2），而前置放大器级的增益随编程增益的变化而变化。由于输出部分的误差与固定增益相乘，因此该部分通常是低电路增益下的主要误差源。当仪表放大器以更高增益工作时，输入级的增益增加。随着增益增加，输入部分导致的误差增多，而输出误差没有增多。因此，在高增益下，输入级误差占主导地位。为了组合来自两个级的误差源，通常将误差建模为与输入串联的单个误差源，或折合到输入端 (RTI)。同样，也可将误差建模为与输出串联的单个误差源，或折合到输出端 (RTO)。

以失调电压为例，对于 AD8422BRZ，最大失调电压由 25μV 的输入失调电压 (VOSI) 和 150μV 的输出失调电压 (VOSO) 组成。下面以这些典型值计算增益为 10 时的总失调电压。

总 RTI 误差 = VOSI + (VOSO/G) = 25μV + (150μV/10) = 40μV

总 RTO 误差 = G*VOSI + VOSO = 10*25μV + 150μV = 400μV

请注意，这两个误差数值（RTI 和 RTO）是不同的：RTO 数值大 10 倍，逻辑上也应该大 10 倍，因为在增益为 10 时，仪表放大器的输出端误差应是输入端误差的 10 倍。
噪声的计算方法类似，除了两部分的噪声以平方根和形式增加之外。

总 RTI 噪声 = $\sqrt{}$eNI^2 + (eNO/G)^2

总 RTO 噪声 = √(G*eNI)^2 + eNO^2

在增益为 10 时，AD8422 RTI 电压噪声频谱密度为：√(8nV/√Hz^2 + (80nV/√Hz/10)^2) = 11.3nV/√Hz RTI。

注意增益误差，它们是相乘而不是相加，不要遵循这种模式。例如，如果双级放大器的每个级上有 1%的误差，则不管每个级的增益是多少，都约有 2%的误差，遵循如下计算：(G1*1.01) * (G2*1.01) = G1*G2*1.0201。

2. 仪表放大器设计中的常见陷阱

Q：使用具有三运放架构的仪表放大器时（AD8421、AD8422、AD8221、AD8220、AD8226、AD8429 等），要避免哪些常见陷阱？

A：为了获得最佳的性能，必须正确应用。

浮动传感器：仪表放大器输入并未隔离，因此不能测量浮动电压。对于热电偶或变压器等浮动传感器，必须为偏置电流提供直流接地路径。这可保证 AD8422 的输入不会浮动到输入范围边缘并饱和。

对于单电源应用，输入必须偏置到输入范围内的某一电压，如中间电源电压。有关更多单电源仪表放大器考虑因素，请参阅 AN0937：
http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-937.pdf

REF 输入阻抗：AD8422 的输出是相对于 REF 引脚的电压来计算的，该引脚通常直接接地。如果必须对输出进行电平搬移，可驱动 REF 引脚来实现。但是，为了避免过多 CMRR 和增益误差，必须使用低阻抗源驱动 REF 引脚。

RFI 整流：AD8422 是精密放大器。因此，当高频信号（如 RF）耦合到输入端时，会在输出端整流成直流电压。由于这些信号随时间的变化而变化，这种整流可能表现为一系列脉冲，无法通过额外的滤波或校准来移除。数据手册中推荐了一种 RFI 滤波器用于减少 RFI 整流。在 RF 干扰程度较高的应用中，可在输入端使用铁氧体磁珠或共模扼流圈来进一步衰减 RF 信号。有关更多信息，请参阅《仪表放大器应用工程师指南》。

应用 AD8422 的更多考虑因素可在数据手册的“操作原理”部分中找到。

3. 仪表放大器的输入共模电压范围

Q：我的仪表放大器在较低增益下可以工作，但在较高增益下似乎无法达到所需的输出值。

A：可能是遇到了芯片的输入共模电压与输出电压摆幅的限制。内部节点可能在使用三运放结构的仪表放大器中饱和，从而造成输出电压的限制。仪表放大器的钻石图展示了这一点。下面是 AD8226 的示例钻石图：

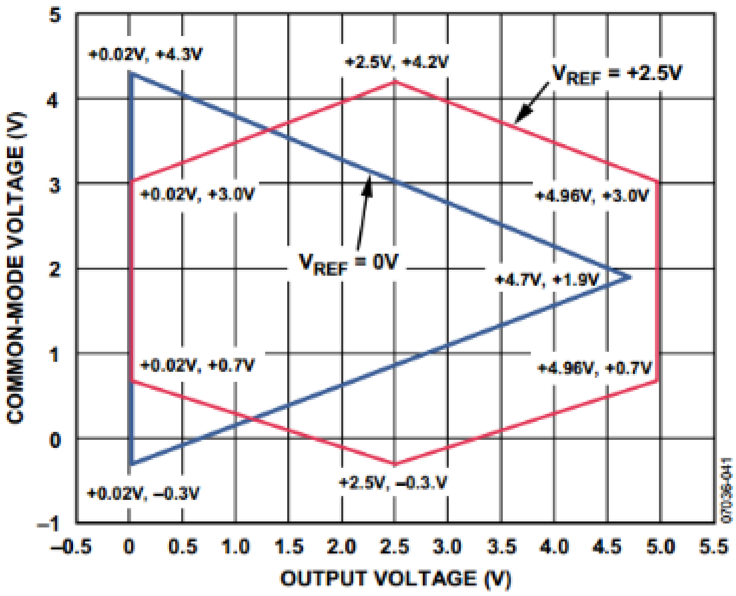


Figure 13. Input Common-Mode Voltage vs. Output Voltage, Single Supply, V_S = +5 V, G = 100

请注意，当输入共模电压处于供电电压的一半时，可获得最大输出摆幅。要了解有关此工作原理的更多信息，可观看视频：http://www.youtube.com/watch?v=VSf31DaXWUE。《仪表放大器应用工程师指南》的第 2-3 页：http://www.analog.com/static/imported-files/design_handbooks/5816856680166219537Chapter_II.pdf 也讨论了这种效果。

4. 仪表放大器共模范围：钻石图（应用笔记）

请参考以下应用笔记：

https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-1401.pdf

5. 使用钻石图工具（视频）

钻石图的使用也可以参考以下视频：

https://www.youtube.com/watch?v=5qVVAt_XlmE&t=6s

如何满足那些设计参数要求?

满足指标，是设计的基本要求。不同的应用有不同的指标，在设计过程中，指标不达标通常给我们带来很多棘手的问题。这里分享论坛中工程师朋友们设计中遇到的各种指标问题，通过 ADI 专家的指点获得解决。这里分享这些问题的解决过程，希望对相关设计的朋友们具有一定参考意义。

1. 为什么放大倍数不能达到 40 倍?

Q：我按照 AD8099 手册给的参考电路和要求，做了个放大电路，不知为何放大倍数不能到 40 倍，我的输入信号是 36MHz。请用到此芯片的高手给指点一下，谢谢。

A：超过 G = 15 之后，不需要外部补偿。在 G = 20 的情况下，带宽大概是 30Mhz。40 倍的增益，大信号带宽会必然小于 30MHz，所以针对 36MHz 的信号，无法达到 40 倍的增益。信号带宽需要参考数据手册中的测试图，如 AD8099 数据手册中图 1，图 12。而且小信号与大信号的频响曲线也是有差别的。在实际使用中需要考虑是大信号还是小信号，之后根据实际信号查找数据手册中的测试结果图。如果所需的增益在数据手册中没有，可以粗略的根据增益带宽积进行推算。比如，需要 40 倍增益，数据手册中只有 20 倍增益的曲线，就可以根据 20 倍增益的曲线进行推测。

2. 放大倍数太低，衰减很厉害，问题到底出在哪?

Q：最近我在用 AD8367 实现 VGA 的功能，电路完全是按照 PDF 里的典型电路搭的，唯一的改动是把电容 Chp 改为 10uF。实验的结果很差，当 Vgain 的电压大于 0.5V 时，放大倍数只有 2 倍，远远低于理想指标。做了挺多改动还是没有效果，希望大家

帮忙出出主意，看看问题到底出在哪？

A：应该是因为 Chp 取太大，按公式算应该是 1nF，或 2nF.的。AD8367 数据手册中图 33 上面那段话也有介绍那个输出的高通滤波。另外，可能要检查一下匹配算的对不对。不过本身 5KHz 的信号，频率比较低，可能也不需要做阻抗匹配。

3. 自动增益控制是怎么实现的？下限截止频率如何控制？

Q：AD8368 上下限截止频率是通过 HPFL 和 DECL 两个引脚控制的吗，因为 datasheet 里面有两个公式。还有就是那自动增益控制是怎么实现的？

A：AD8368 的工作频段为低频到 800MHz。如何实现 AGC 可参考文献

Design and Operation of Automatic Gain Control Loops for Receivers in Modern Communication Systems。

425754120229534504611118l2375Design_and_Operation_of_AGC_Loops.pdf.pdf

4. 求助——模拟电路设计问题

Q：为什么 OP27 的同相输入端要输入电源电压的分压？在电路设计中如何确定 R6 和 R7 的值？

A：如果是同相输入电路，那么当输入信号处于电源电压的中间点时，运放的性能是最好的。您说的电路一般用在给别的电路做偏置时使用，即通过电阻分压得到一个信号，再用运放对该信号缓冲后提供给其他电路作为偏置。电阻的取值一般为 kohm 级，电阻越大，带来的噪声越大，电阻越小，会消耗更多的电源电流。

5. 关于可变增益放大器 AD8367 的 DETO 管脚电压问题

Q：按照数据手册中的原理图做了一块 PCB，但在调试过程中发现 DETO 管脚电压一直在 2.5V 左右，并不符合 0~1V 的电压值，现在的测试环境和数据手册中一样，输入输出均未接入其它电路。此时的 DETO 管脚电压一上电就上升到 2.5V，请问这是什么原

因？是否和 PCB 的布局有关系呢？

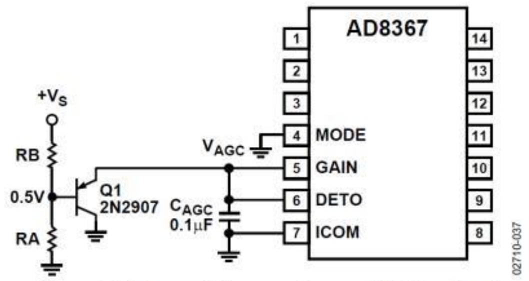


Figure 37. External Clamp to Prevent AGC Overload.
The resistive divider network, RA and RB, should be designed such that the base of Q1 is driven to 0.5 V.

A： 有些情况下，AGC 环路过载时，AD8367 需要非常长的时间来恢复，在这短时间内，DETO 引脚的电压会非常高。请参考下图做电路修改，具体请参考数据手册中 AGCOPERATION 章节。

理论上，在没有信号输入的情况下，DETO 检测到的信号功率是比较低的。但是此时，环路会控制 AD8367 工作于最大增益状态（AD8367 增益控制曲线要设置为负斜率曲线）。因此，调试时，建议您将 AGC 环路断开，输入已知功率信号，分别改变输入信号功率和增益控制电压，测量 AD8367 输出信号功率和 DETO 是否正常，确保芯片在 VGA 模式下工作正常后再测试闭环工作。

6. 超高动态范围差分放大器 ADL5565 的 S 参数模型

Q： ADL5565 的 s 参数模型是不是有问题？输入阻抗，输出阻抗，怎么都是 100 欧？这样如何去做阻抗分析？

A： ADL5565 输入和输出阻抗请参考数据手册中 SPECIFICATIONS。在 ADI 官网提供的 S 参数可通过 S11 和 S22 参数对输入输出阻抗进行匹配。

7. 关于双通道运算放大器 OP2177 开环相频特性曲线的疑问

Q： 根据最新的 OP2177 规格书第五页的描述，OP2177 开环相频、幅频特性曲线 TPC6 中，相移在第二个极点之前，保持在 100Degrees，正常一个极点的最大相移是 90Degrees，请问 100Degrees 是怎么设计出来的，谢谢！

A： 在官网下载最新的英文数据手册（版本号 G）第六页的 Figure12 找到了一张 Open-LoopGainandPhaseShiftvs.Frequency 的曲线，但是没看出您说的现象。其实这个问题关乎芯片内部设计细节。理论上，一个极点意外着 90 度相移，而实际上设计出来的放大器不可能正好是 90 度。是不是 90 度关系不大，因为我们更应该关注增益为 1 时的相位裕度是否大于 45 度，带宽是否满足需求。

8. 关于可编程增益仪表放大器 AD8253 可控增益的问题

Q： 请问为什么使用锁存增益模式时，控制使 AD8253 增益为 100 时出现错误？还有就是请问如何产生一个精密的负电压-5V 给 AD8253 供电啊？

A： 针对负电源的问题，可以参考如下工具，ADIsimPower™，填入输入电压，输出电压、电流就可以得到相应的的电路方案和芯片。对输入正弦波，输出为几十纳秒的正弦波的现象。输入波形幅值、频率什么样的，输出的波形的幅值、频率什么样的。建议通过示波器抓取一下。同时可以尝试使用直流稳压电源直接给芯片提供负电源，查看是否出现同样的现象。

9. 仪放偏置电阻如何设？正常电流是多少？

Q：

1) Datasheet 输入偏置电流回路：热偶形式的偏置电阻大小没有给出典型值，请问如果我用 ADTL082 电压跟随器输出给 AD8221，是否应该选用 8221 反相端单端偏置方式，偏置电阻应该选多大？如果不对，应该怎么设计？
2) Datasheet 上只有静态电流。AD8221 正常工作的电流是多少（正负 12v 电源）？
3) ADTL082 电压跟随器输出给 AD8221 方式中，8221 负端接 082 的地，正端接 082 输出。处于安全考虑，应该两输入端各串一个 2k 电阻 or 只在正端串即可。

A：

1) 100k-1M 即可。

2) 工作的电流和负载情况直接相关，可以仿真。

3) 参看手册 inputprotection 章节，

“the AD8221 cansafelyhandleacontinuous6mAcurrent，I = VIN/REXTfor

positiveovervoltageandI = VIN/(400Ω + REXT)fornegativeovervoltage.”

需要多大的电阻要看输入的信号最坏情况下会有多大或者多小。datasheet 中的热偶接法是因为热偶只提供一个电压差信号，AD8221 正常工作需要对两个输入端口的绝对电压范围明确定义，因此在负输入端接了一个电阻到地，提供一个共模的输入电平。工作电流和负载相关。如果考虑最大，可以参考短路电流，手册中的值为 18mA，那么再加上静态电流后最大的电源电流约为 19-20mA。

10. 跨阻放大器 AD8015 差动输出的问题求助！

Q： AD8015 的应用是否一定要参照数据手册的应用电路？是否可以应用单端输出给后续放大电路？芯片 4 管脚的作用及连接方法？

A： 4 脚可以用于给输入偏置电压提供旁路。可以用一个电容连接到地，如果供电上噪声较大的话，可用用一个电容连接到+VS。如手册所述：

“This node must be by passed with acapacitor (C1 in Figures 3 and 4 below) to the signal ground. If large levels of power supply noise exist，then connecting C1to + VSis recommended for improved noise immunity.”您电路中 C1 的取值偏大，和 R1 组成低通滤波器的截止频率较低（如手册 8 页 RAC 和 CAC），会影响到输入信号。

11. 求助：如何提高运放的输入阻抗？

Q： 产品设计要求：1MHz 频率下输入阻抗达到 1M 欧姆。查遍 ADI 的运放，似乎没一个符合要求的运放，最小的一个杂散电容 1.3pF，换算成输入阻抗也只能达到 200 来 K，请问 ADI 是否有相关的产品？

A： 您说的应该是 ADA4817 这颗器件，如果是直流的输入阻抗要求为 1Mohm，很多运

放都能满足。而如果是 1MHz 时要求输入阻抗为 1Mohm，受输入电容影响，没有一个放大器能满足这样的需求。您需要确认是否这样的需求是否真实，或者说什么样的源输出阻抗在 1MHz 时会很大，从而要求后端的电路输入阻抗为 1Mohm。

12. 对数放大器放大倍数不够，怎么办？

Q： 最近在调试 AD8309 对数放大器芯片，前两天刚焊接了一板电路，回来以后调试了几天，目前只能调试到 62dB 左右的放大倍数！手册上面是 100dB 的放大倍数，还有很远的距离要调试！我该怎么办？

A： AD8309 虽然叫做对数放大器，但实质为检波器，用于射频信号功率检测，因此应成为对数检波器。可检测范围为-80dBm~+20dBm，检波输入范围为 100dB。数据手册中图 7 为输入信号与输出电压间的传输关系。LMHI/LMLO 为限幅放大器输出；VLOG 为检波输出。LMHI/LMLO 最大输出（典型值）为 1.25V（相对于 VPS2）。

RLIM 电阻对限幅放大器输出电流进行调节。

IOUT = －400mV/RLIM

VLIM = VS – 400mV•RLOAD/RLIM

13. 用可变增益放大器 AD8367 做 AGC，输出电压有问题，该怎么解决？

Q： 若把 GAIN 脚和 DETO 脚相连，用内部检波输出功能实现电压的 AGC 控制，发现 DETO 输出电压在 2.5V 左右，与 datasheet 里 DETO 所标定的 0V~1V 电压输出有较大差距，请问这是什么问题造成的？该如何解决？AD8367 在低频工作状态下还需要做输入输出匹配吗？

A： 请尽量数据手册中参考图 34 配置测试电路，再对比图 21，检查 AGCRSSi 是否正常(0~1V)。以经验来说，10MHz 以上的信号需要小心阻抗匹配的问题。手册上给出的匹配数据也是 10MHz 为起点的。10MHz 以下视您的测试情况而定。IP3，thirdinterceptpoint，中文三阶交调点。

IIP3，输入三阶交调点。

OIP3，输出三阶交调点。

当两个不同频率的信号通过一个非线性系统时（双音测试），输出一般会含有一些不属于输入频率谐波的成分。

这种现象来源于两个信号的混频（multiplication），叫做交调（intermodulation）。设两信号频率为 Ω1、Ω2，通过非线性系统将产生各种源自 Ω1、Ω2 组合的频率。其中 2Ω1-Ω2、2Ω2-Ω1 由非线性系统传函的三阶项产生，在 Ω1、Ω2 附近（若 Ω1、Ω2 接近），是我们所关心的，这些谐波频率成分随着输入信号幅度的增长而增长，增长速度正比于输入幅度的立方。

当输入幅度使得 3 阶项的系数和基频相等，这一输入幅度就称为输入 3 阶交调点。

3 阶交调点是系统线性度的度量。

我想“IP2”也是可以用类似的方法定义的，但是我们通常不这么做。

“IP1”不存在。

IIP3 和 OIP3 的关系：

OIP3 = IIP3 × Gain

OIP3(dBm) = IIP3(dBm) + G(dB)

14. 运算放大器 AD8041 接成缓冲器，其输入电压范围是多少？

Q：在我们的一个设计中，AD8041 由单+5V 电源供电被接成电压缓冲器，前级电路是+-12V 电源供电的运放输出。为保护 AD8041，在其输入端分别对地和+5V 电源加了两个钳位二极管，这样 AD8041 输入电压范围为-0.7V~+5.7V。看手册，单+5V 电源供电的 AD8041 其输入共模电压范围是-0.2V~+4V，最大标称输入电压。尽管目前电路工作正常，我们不确定的是当输入电压为-0.7V 或+5.7V，每天三次，每次持续 15 分钟，对 AD8041 可靠性有多大影响？

A：在工作过程中，超出手册中规定的最大额定值的范围，是有风险的，不建议让器件处于这样的工作条件。可以参考一下数据手册中第 11 也左侧倒数第二段的内容。当输

入电压超出电源轨 0.5V 以上时，芯片内部的保护二极管可能会导通，而这个内部二极管的电流能力通常是有限的，容易造成芯片损坏。我们无法保证在您的工作条件下，AD8041 是否能够长期正常工作，需要您自己衡量。

15. AGC 电路调试时，波形出现明显的失真，怎么解决？

Q： 我参照 AD603 的 Datasheet 的 AGC 电路图设计了一个 AGC 电路，调试过程发现，当输入频率 f<50Khz 的时候，波形出现明显的失真（波形的下半周向左偏斜），调节了一些参数后现象依旧不变，达不到题目所有的范围。

A： 通常调试中，可将 AD603 配置成 VGA 的简单工作模式，输入信号，通过调整增益控制电压，测量一下输出信号幅度变化，看 AD603 的 VGA 功能是否能够正常实现。

16. 跨阻放大器 AD8015 求助，第一级电压为什么没有放大？

Q： 电流经过 AD8015-I/V 转换，输出差分信号，但输出交流电压和输入交流电压差不多（都为 200mV 左右），没有放大，请问第一级电压为什么没有放大？

A： 建议根据数据手册中第 8 页的上面的说明来计算 RC 和您输入信号频率的关系。RC 是高通网络，要保证输入信号没有衰减地通过该网络。

17. 放大与阻抗匹配问题

Q： 你好，使用 AD8367 工作在 VGA 模式，电路图是按照 datasheet 典型应用电路连接的，如下图。然后调试结果是，当 VGIAN = 500mV 时，输出才放大 2 倍。最大能放大 5 倍左右，请问这是怎么回事，正常吗？

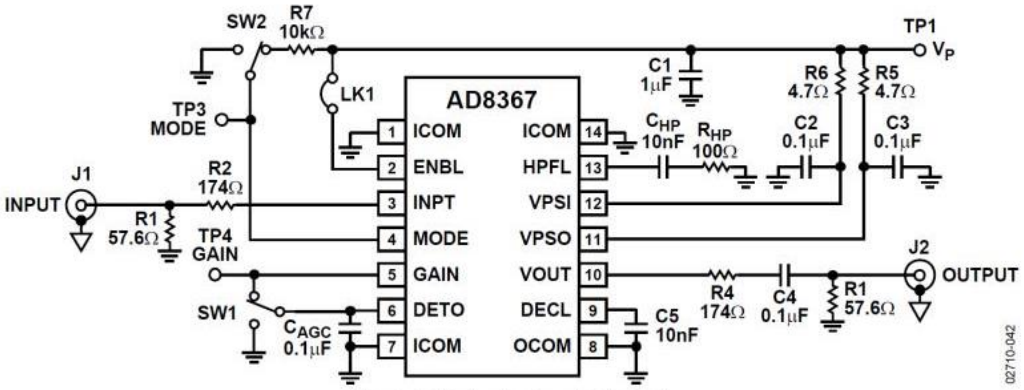


Figure 42. Evaluation Board Schematic

A：有几点需要注意。首先是输入信号幅度和输出信号幅度限制。输入信号最大不能超过 700mVp-p，输出信号幅度不会超过 1dB 压缩点。AD8367 数据手册中增益为功率增益，而不是电压增益。还有就是需要注意输入和输出匹配电路的设计。在失配的情况下测量则体现为增益不足。对于级联设计，建议两级间设计 pi 型或 T 型纯阻网络，增加两级级间隔离度，避免自激震荡。MODE 置高时，增益曲线为正，请检查环路是否进入正反馈环路，导致自激。通常放大器自激是由于输出信号耦合到输入端导致。因此，检查时应注意 PCB 布线，输出信号线是否与输入信号线较近。在输出信号线与输入信号线是否有足够的隔离，如足够的地孔等。除此之外，还应注意电源和地的设计。并且 VGA 工作于最大增益附近也容易导致自激。您可以将输入端接地，看是否有自激输出信号。

18. 乘法器输入两个相同的信号，相乘后的输出不稳定，怎么办？

Q：AD835 乘法器在输入两个相同的信号，如都输入 1kHzVpp = 1v 的正弦信号，根据乘法器可以实现变频，输出应该是 2kH 正弦波和 0Hz 的直流才对，但是实际输出不仅出现了 2kHz 信号，而且还出现了 1kHz，使得输出的波形很粗，且可一看到是两个波形的叠加，请问这要怎样解决？

A：有几点需要注意。首先是输入馈通，导致输出会有 1kHz 信号。还有就是注意输入信号会有谐波等，谐波相乘可能会产生 1kHz 的非线性产物。因此可以先试着与直流相乘，看一下结果。

19. 仪表放大器输入悬空时，输出是怎样的？

Q：AD8221 输入悬空时，输出是怎样的？如果输出不确定，后面的 AD 输入怎么保护？测量 mv 级信号，放大 15 倍，有没有什么推荐的保护电路？

A：仪放输入悬空，输出状态是未知的。需要加保护电路。保护电路可以通过电阻网络将放大器输入接到固定共模电压上。这样在没有输入的情况下，会有共模电压，差模电压为 0。

一对差分信号中有一路悬空状态也是未知的。如果只采一个信号，那么使用 AD7190 单一通道就可以了。当其中某一输入悬空时，输出是未知的有可能是电压轨，也有可能钳位于其他值。AD8221 为仪放产品，其内部由 3 个运放单元组成的，请参考数据手册中图 43。

20. 放大器对整个调理电路带来的噪声如何计算？

Q：如图，AD8429 的噪声和带宽图，如果增益取 1000，带宽在 100KHz 的情况下，放大器给整个前端调理电路带来的噪声是多少？对应于时域的噪声信号幅度是多少？

A：主要噪声可如下图这样估算。但是没有计入电阻、1/f 噪声。建议用 LTSPICE 仿真得到结果。

$$V_{NOISE,\,AMP}(Calculated) = NSD\left(\frac{nV}{\sqrt{Hz}}\right) \times \sqrt{BW \times ShapeFactor}$$

System Order	Shape Factor
1	1.57
2	1.11
3	1.05
4	1.03
5	1.02

21. 关于采用抗混叠滤波器的高性能宽带接收机的几个疑问

Q：为何最近性能是载入 100 欧的情况？5Ω + 0.1uF + 62Ω + 5Ω + 0.1uF + 62Ω 是如何推算得到 101Ω 的净负载阻抗？文中提到的“511Ω 电阻与 ADC 并联，用于降低 ADC 的输入

阻抗，使性能更具可预测性”，这个 511Ω 电阻在选择的时候是如何确定的此值？为何计算巴特沃斯滤波器不是按照源端负载端均 100Ω 来计算设计呢？

A：

1) 当 ADA4960-1 驱动高输入阻抗的 ADC 时，ADA4960-1 输出端上的一个 100Ω 电阻可增强系统带宽和失真性能。

2) 101 欧的净负载计算方法如下：(2 * 5 + 511//1000)//(62 + 62) + 5 + 5 = 101。

3) 可以参考 CN0238 有关于滤波器和接口设计的基本设计流程，与 ADC 输入阻抗并联后要介于 200 欧和 400 欧之间。

4) 三阶巴特沃兹滤波器采用 70Ω 的源阻抗、338Ω 的负载阻抗是因为设置了 101 欧的净负载后，固定了相应的电阻值，滤波器作为二端口网络需要跟前后接口匹配。滤波器往前看是 70 欧的阻抗，滤波器往后看是 338 欧。这只是其中一个取值的例子，实际的取值可以参考 CN0238 中的设计流程，满足相应的要求即可。

22. 关于三运放仪用放大器芯片 AD8421 的问题

Q：请问大神，对于三运放仪用放大器芯片 AD8421，把它用于第二级放大的时候，前一级的两个放大器输出的共模电压达到 AD8421 的工作电源的时候，AD8421 是不是很容易就饱和了？

A：AD8421 的三运放架构在消除差动放大器级的共模电压之前，在第一级调节增益。第一级与第二级间的内部节点（图 61 中的节点 1 和 2）上的信号是由增益信号、共模信号以及二极管压降三部分组成。电源电压会限制合并后的信号，即使在单独输入和输出信号没有被限制的时候也是如此。图 10 至图 13 显示了这一限制的详细情况。建议您使用在线钻石图工具进行仿真。

23. 单电源比较器单+5V 供电，方波输入，输出延时问题

Q：AD8561 单+5V 供电，方波输入，仿真下降沿比上升沿延时大，如果双电源则延时则一样，实际应用是否也是这样？官网的 pspice 模型。

A：pspice 只是对于器件的近似模拟，其只是 level1 或者 level3 的模型，无法完全还原真实的环境。具体的结果还看真实的工作环境。而数据手册中给出的数据为在给定环境下的测试结果，从数据手册中我们可以得到上升时间和下降时间。

24. 放大倍数不对怎么办？这么用合理吗？

Q：传感器采集的是一个微弱的单端信号，我想通过 AD620 实现放大然后再检测。现在有几个问题：根据手册，使用 1K 精密电阻，放大 50.4 倍，但是我用万用表检测，放大的是 49.7 倍左右，请问大概是什么原因？在 PCB 布局上，电阻和 1 号、8 号引脚上有什么注意点吗？

A：首先，您要用高精度万用表确定您的 1k 电阻的实际阻值，注意要拆下来再测量阻值。其次，布局布线时，增益电阻和 1 脚 8 脚的走线要短，避免额外的阻值带来的增益误差。

25. 二阶有源低通滤波器输出振荡，怎么回事？

Q：OP270 做二阶有源低通滤波器，单位增益跟随输出，当输出电压饱和时，输出振荡。OP270 纯跟随输出饱和时不会振荡，只有在下图二阶有源滤波跟随输出饱和时振荡，将电容 C1 拆除后饱和输出无振荡；或者将运放 OP270 换为 AD712 饱和输出也没有振荡。请教达人讲解下 OP270 在这个电路饱和输出时的故障原因和机理，以及 AD712 没有振荡的原因。谢谢！

A：放大器震荡是因为相位裕度不够。如果是 sallenkey 结构的滤波器更要注意，因为此时信号是从正输入端进，而输出端和输入端有电容连接。可以用 LTSPICE 仿真电路的相位裕度。

26. 利用轨到轨输出放大器 ADA4841-2，但输出无法达到轨到轨，怎么办？

Q：小弟利用 ADA4841-2，VS+为 5V，VS-为 GND，当输入电压大于 4.3V 以上时，输出只能到 4.3V；当 VS+为 6V，输出就可以突破 4.3V，这样不就没有轨对轨功效了，难道

还有 0.7V 的压降吗？

A： ADA4841-2 为输出轨到轨放大器，输入端范围如下，因此如果单电源 5V 供电，输入 4.3V 超过了该输入范围。您可以给电路配一定的增益，比如 2，这是输入为 2.5V 时，输出为 5V。输入输出都在允许的范围内。

INPUT CHARACTERISTICS					
Input Resistance, Common Mode			90		MΩ
Input Resistance, Differential Mode			25		kΩ
Input Capacitance, Common Mode			1		pF
Input Capacitance, Differential Mode			3		pF
Input Common-Mode Voltage Range		−5.1		+4	V
Common-Mode Rejection Ratio (CMRR)	$V_{CM} = \Delta\, 4\, V$	95	115		dB

27. DA 输出经运放 OP295 调节后纹波很大，什么原因？

Q： 最近在整的一个电路中，一个 DA 模块，DA 芯片选的是 4 路八位的 AD7305，从 AD7305 输出的模拟电压没什么问题，但经过 op295 运放调节输出后，纹波变得非常之大，就算 7305 输出 0V 的情况下也是一样非常大的纹波，大概 1000mv 的，几千 hz 的波形，麻烦各位大侠看看我的电路是不是有什么问题！

A： 从您描述的现象应该是输出震荡了，但是您的电路本身设计没有什么问题。您是否在 OP295 后面接了较大的容性负载？您是不是可以空载测量一下？或者使用我们在线的 LTSPICE 仿真工具仿真一下您的电路有没有问题。

28. 双通道数字增益微调放大器 AD8366 应用中的奇怪问题

Q： 我最近使用的 AD8366 的时候出现一个很奇怪的现象，我照着 AD8366 的 datasheet 上的 P20 做了个电路，有几块电路没问题，有两块出现了 AD8366 的输出端的电压幅度不一样，后来发现输出不一样的 AD8366 的 OFSA 和 OFSB 的对地电容的电压不一样，不知道是输出幅度的不一样导致这两个电容的电压不一样，还是两个电容的电压不一样导致输出幅度的不一样？

A： 您有两块板子出现了这个问题，如果将好板子上的 AD8366 与这两块板子上的 AD8366 对调，现象是否依旧存在呢？这样可以检查是外围电路或是 AD8366 的问题导致了这个问题。如果将两颗 AD8366 对调，不能工作的板子还是不能工作，那么建议您

检查外围电路的焊接是否存在虚焊或短路的情况。

29. 谐波失真是怎么引起的？

Q： 从频谱上看，这种失真是由谐波导致的。可是从数据手册中没看到任何关于谐波的任何说明，到底是什么原因？

A： 20MHz 情况下的总谐波失真与 10MHz 下的差别不会很大，数据手册没有给出具体的值，应该是没有测量，根据你的测试结果，很有可能是测试的仪器及方法不对，AD603 的频率响应测试对仪器的要求还是比较高的，如下是数据手册的测试电路，请参考这个电路来测试，建议不要使用示波器来看测量结果。

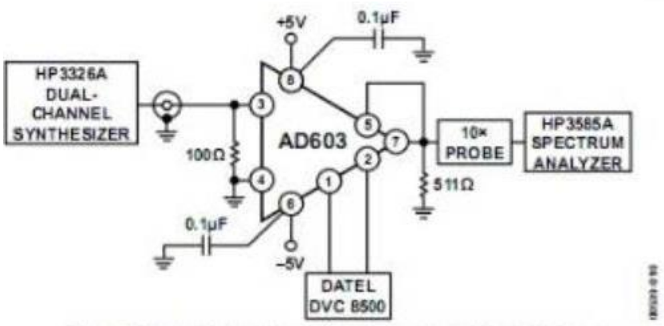


Figure 29. Third-Order Intermodulation Distortion Test Setup

30. 差分 ADC 驱动器 ADA4937-1 的问题

Q： 我的电路图如上图所示，其中 ADA4937-1 输出端的电阻应该是 0 欧姆。两个运放电路一模一样。我现在的问题是，不供任何信号，就这样的电路，加上电后，频谱仪设置为 0-100MHz，幅度为-120~-20dB。这个时候就可以看到，70MHz 附近会有个一些信号抬起来。大概比噪底-70dB 提高 5dB 左右。实在找不到原因！

A： 有可能您电路上其他部分的 70MHz 信号串到这部分电路上来了。高速的器件，布局布线很讲究的，任何寄生的电容效应都会对频率响应有很大影响。

31. 求问 in+和 in-脚上为什么会悬浮一个 3.0V 左右的电压？

Q： 单独给 AD8210 提供 5V 时，in+和 in-脚上为什么会悬浮一个 3.0V 左右的电压？

一直不解，想弄明白。我想要的效果是 in-和 in+脚上不要悬浮电压，为 0V。希望各位朋友给予讲解。

A：可以给输入管脚提供输入信号，再看看是否还会有这个偏置。

32. 脉冲信号与时钟信号的叠加

Q：我使用 FPGA 产生一个 5MHz 的时钟信号，0V-3.3V。为了测试产品的稳定性，需要在这个时钟信号的低电平位置叠加一个脉冲信号，此脉冲信号也是由 FPGA 产生，频率约为 250Mhz。我的问题是：

1) 怎样控制脉冲信号的幅值，使其可以在 0V 到 5V 内可控？如需选用放大器，请问我需要的放大器的带宽满足什么条件？
2) 怎样实现两种信号的叠加？是否有此类 IC？
3) 怎样把反向脉冲信号（一直是 3.3V，当有触发的时候为 0V，250MHz）叠加到 5V 的直流电源上？
4) 我把 5M 的时钟信号分别经过带宽 10MHz 和带宽 250Mhz 的放大器组成跟随器，但是输出的时钟信号完全变形，类似于三角波。请问这是为什么？

A：

1) 250MHz 的脉冲信号，使用放大器，带宽需要至少 3GHz；
2) 很难做到两个信号相加；
3) 叠加是可能的，但是叠加后如何有和直流电源相同的驱动能力是一个问题；
4) 10MHz 放大器的带宽太窄。

33. 关于差动放大器 AD8274 的问题，请教 ADI 的工程师

Q：我发现文档 CN0116 里给出的参考原理图里，AD8274 的管脚顺序和 AD8274 的数据手册里给出的不一致，8274 里数据手册上引脚 2 和 3 是输入端，而 CN0116 里成了 1

和 6 是输入端，想问问 ADI 工程师，这是不是文档的一处错误，哪个是正确的？

A：两个图都是正确的。CN0116 中 AD8274 的连接方法您可以参考 AD8274 数据手册中第 13 页图 41。AD8274 不同的连接方法，增益有所不同。

34. 运放做比较器时的问题

Q：请教一下，用运放做比较器使用时，输出高低电平上出现了过冲和回沟，怎么能比较好的消除？

A：可参考文献

比较器和运算放大器——它们可能永远不可能做相同的应用。

35. 遇到差分放大器 AD8273 经常烧坏的情况，怎么办？

Q：本人从事测试方面工作，对硬件电路不了解。用途：针对车载 CD 机功放输出的 6V 偏置的差分信号。我用±12V 供给 8273。但是，经常不知原因地发热很厉害烧坏。一块 IC 也挺贵的，有点可惜。会不会跟功放输出偶尔大于 10、11V，超出 8273 的范围有关？

A：对于芯片的使用，建议不要超过数据手册中绝对最大额定参数值，即 ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS。否则可能会导致芯片永久性损坏。

36. 做乘法器电路问题，引脚端突然出现两个偏置电流，怎么回事？

Q：我用 AD835 的 Datasheet 上的电路做了一个乘法器电路，但是测试的时候发现，当输入信号大于峰值大于 600mV 左右的时候，1 和 8 两个引脚端就会突然出现两个直流偏置，约-1.5V，请问有人用该芯片出现过这种问题吗？求指教！

A：放大器输入悬空，输出状态是未知的。需要加保护电路。保护电路可以通过电阻网络将放大器输入接到固定共模电压上。这样在没有输入的情况下，会有共模电压，差模电压为 0。一对差分信号中有一路悬空状态也是未知的。不太确定您的应用，如果

只采一个信号，那么您使用 AD7190 单一通道就可以了。

37. 运算放大器 AD797AR 和 AD8099AR 无法正常工作？

Q：在使用这两款芯片作为低噪声放大电路的时候均出现了以下情况，电路工作在同相放大模式，在输入端接地的情况下测量运放的失调电压时，运放的输出端直接会出现约 3.2V 左右的直流电压，而运放本身的放大倍数很小。

A：将 AD797 搭建成正端输入，反向端与输入短接的结构，测试芯片是否正常工作，如果正常工作证明芯片没有损坏，反之，芯片可能损坏。或者更换新的 AD797 是否可以正常工作，如果正常工作，证明原芯片可能损坏。

38. 低噪声放大器 AD8003 运放在 80M 处总有谐波，求指导！

Q：我在调试 AD8003 时，参照技术手册 10 倍放大进行装配，只用一个通道，正负 5 伏供电，RS = 0，RG = 33 欧，RF = 300 欧，RL = 150 欧，PD 脚接+5V，测试示波器输入阻抗 1M 欧，测试时输入 10mV 正弦波，频谱分析是发现在 80MHz 出总有谐波，而且从 30MHz 开始上扬，到 80MHz 时放大倍数达到 300 倍，过了 80MHz 后开始衰减。后来改为 5 倍放大情况依然如上所述，实在是不能理解呀，求指导！！

A：请检查一下 80MHz 频率上的是谐波信号，还是电路板上故有的频率分量。

电路滤波及滤波电路

滤波电路及电路滤波是论坛中关注比较集中的一类技术话题，特地将这些问题整理出来，方便对相关问题关注的工程师朋友查阅和学习。

1. 关于采用抗混叠滤波器的高性能宽带接收机的几个疑问

Q：阅读“采用抗混叠滤波器的高性能、12 位、500MSPS 宽带接收机”一文，有以下几个问题：

1) 为何最近性能是载入 100 欧的情况？

2) 5Ω + 0.1uF + 62Ω + 5Ω + 0.1uF + 62Ω 是如何推算得到 101Ω 的净负载阻抗？

3) 文中提到的“511Ω 电阻与 ADC 并联，用于降低 ADC 的输入阻抗，使性能更具可预测性”，这个 511Ω 电阻在选择的时候是如何确定的此值？

4) 有哪些依据？为何计算巴特沃斯滤波器不是按照源端负载端均 100Ω 来计算设计呢？

A：

1) A 100Ω resistor across the outputs of the ADA4960-1 enhances system bandwidth and distortion performance when The ADA4960-1is driving an ADC with high input impedance.

2) 101 欧的净负载计算方法如下：(2*5 + 511//1000)//(62 + 62) + 5 + 5 = 101。

3) 您可以参考 CN0238 有关于滤波器和接口设计的基本设计流程，与 ADC 输入阻抗并联后要介于 200 欧和 400 欧之间。

4) 三阶巴特沃兹滤波器采用 70Ω 的源阻抗、338Ω 的负载阻抗是因为设置了 101 欧的净负载后，固定了相应的电阻值，滤波器作为二端口网络需要跟前后接口匹配。滤波器往前看是 70 欧的阻抗，滤波器往后看是 338 欧。这只是其中一个取值的例子，实际的取值可以参考 CN0238 中的设计流程，满足相应的要求即可。

2. 二阶有源低通滤波器输出振荡，怎么回事？

Q：OP270 做二阶有源低通滤波器，单位增益跟随输出，当输出电压饱和时，输出振荡。OP270 纯跟随输出饱和时不会振荡，只有在下图二阶有源滤波跟随输出饱和时振荡，将电容 C1 拆除后饱和输出无振荡；或者将运放 OP270 换为 AD712 饱和输出也没有振荡。请教达人讲解下 OP270 在这个电路饱和输出时的故障原因和机理，以及 AD712 没有振荡的原因。谢谢！

A：放大器震荡是因为相位裕度不够。如果是 sallenkey 结构的滤波器更要注意，因为此时信号是从正输入端进，而输出端和输入端有电容连接。可以用 LTSPICE 仿真电路

的相位裕度。

3. DA 输出经运放 OP295 调节后纹波很大

Q：最近在整的一个电路中，一个 DA 模块，DA 芯片选的是 4 路八位的 AD7305，从 AD7305 输出的模拟电压没什么问题，但经过 OP295 运放调节输出后，纹波变得非常之大，就算 7305 输出 0V 的情况下也是一样非常大的纹波，大概 1000mv 的，几千 hz 的波形，麻烦各位大侠看看我的电路是不是有什么问题！

A：从您描述的现象应该是输出震荡了，但是您的电路本身设计没有什么问题。

您是否在 OP295 后面接了较大的容性负载？您是不是可以空载测量一下？或者使用我们在线的 LTSPICE 仿真工具仿真一下您的电路有没有问题。

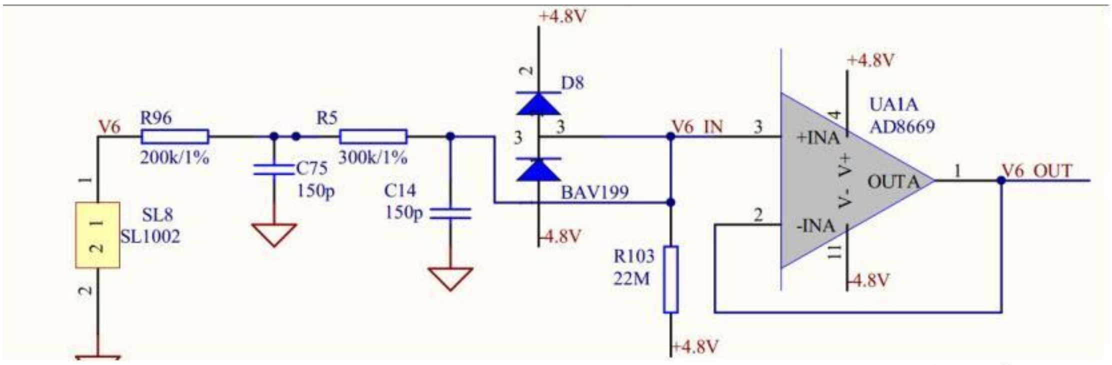
4. 求二阶有源滤波器的型号？

Q：AD 转换输入引脚之前的放大器电路作用是什么？506 评估板上 AD 转换输入引脚之前都有一个放大器电路，能解释一下具体作用吗？R28 有什么作用？

A：电阻 R28 可以为运放的偏执电流提供一个回路。如果没有这个回路，偏置电流会对内部的偏执电容充电，电容没有放电回路造成运放的饱和。那么如果模拟电压输入本身就是由电阻分压得到，是可以取消 R28 的，但是对地电阻不要太大。否则还是会造成电容放电不充分。

5. 脑电图参考设计中滤波电路大电阻的作用是什么？

Q：这是 ADI 做的 ECG 参考设计，运放前面两个 rc 应该是滤波的，让我困惑的是电阻 R103 这个 22M 的大电阻有什么用？



A：这个电阻用于导联脱落检测。当导联脱落时，同向输入端电压到 4.8V，后级的仪表放大器输出会饱和。可以通过这个方法检查导联脱落。

放大器级联

设计中，放大器级联时有用到，这里将论坛中讨论这个问题的帖子归类整理，分享给具有相同疑问的工程师朋友参考。

1. 可变增益放大器 AD8367 级联时的匹配问题

Q：将两个 AD8367 级联使用时，第一级的输出与第二级的输入之间是否还需要加匹配网络呢？是否可以不用匹配而直接将第一级的输出与第二级的输入直接相连呢？如果不可以，那使用一个 300 欧，18 欧，300 欧 II 型网络能否满足要求呢，它引起的衰减又会是多大呢？

A：首先是要设计匹配网络的，AD8367 输出阻抗为 50ohm，要按 200ohm 进行匹配网络设计。此外，要设计 II 型纯阻网络是为了增加两级间的稳定性。

2. 多级放大的放大器该如何选择？

Q：当作超声波探头的前置放大器使用，输入信号为微伏级、双极性信号，单端输入，希望放大器的输入阻抗要大，带宽大于 20MHz，计划采用多级放大至 1Vp-p 左右，经过滤波后，通过 AD8036 输出箝位，再通过 AD8138 驱动 AD9480 进行 AD 转换，那前

置放大部分，多级放大的放大器该如何选择呢？

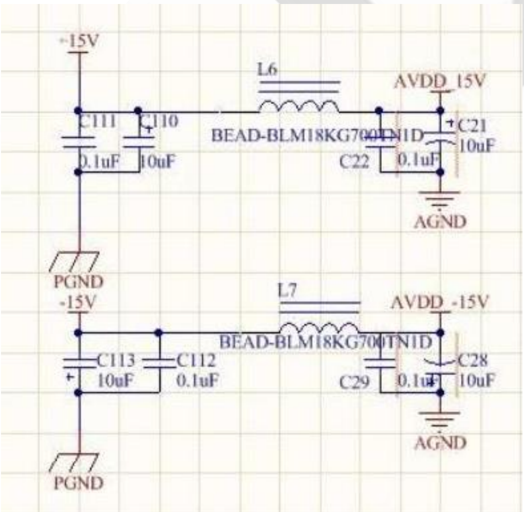
A： 主要是计算好每级的增益，选择增益带宽积合适以及噪声低，drift 小的放大器。对于高频的小信号，直接通过运放去处理的话，噪声以及 drift 的存在很难提取有用信号。可以考虑射频放大器。

放大器电源与供电

放大器供电的问题具有普遍性，放大器电源与供电非常重要，良好的供电电路设计可以保证较好的电路性能，提高电路稳定性、降低成本。

1. 关于精密放大器 OP1177 的供电电源？

Q： 在使用 OP1177 时，需要正负 15V 供电电压，可是理论上说为了保持模拟电路良好的性能，这个正负 15V 应该采用模拟的±15V 电源，可是现在仅仅有一个外接的主电源我如下操作：将外置主电源经过简单滤波后和磁阻隔离后作为运放的模拟电源，这样可行吗，对运放的性能是否有影响？还是采用独立的线性稳压源产生专用的±15V 模拟电源 AVDD_15V 和 AVDD_-15。



A： 可以对应到 OP1177 手册的图 21 查看电源抑制比与频率的关系，从而计算出您的主电源会对放大器的输出产生多大的噪声影响。此时需要根据您后端的系统要求去判断是不是

可以用这样的电源。线性稳压源因噪声小、没有纹波等优点推荐用于模拟电源供电中。

2. 寻找一款输入共模电压可以大于供电电压的仪表放大器

Q：公司产品需要用到电流检测，使用的是 AD620，正负 15V 供电，原设计的 IN+和 IN-的最大共模输入电压为 12V，所以 AD620 可以正常工作。现在要做一款新的基板，也要用到仪表放大器，但其设计的 IN+和 IN-上的最大共模输入电压要为 20V，且由于硬件的原因，该放大器的供电还是只能是正负 15V 供电。AD620 显然是不能使用了，请问各位专家能否推荐一款放大器能够满足我的要求。

A：**仪表放大器的输入不可能大于电源电压。您的应用场景，可以考虑专用的电流检测放大器**，比如 AD8418，在 5V 供电时，输入端的共模电压可以到 80V。

3. 是否必须双电源供电？

Q：光电二极管接到 ADL5304，光电二极管偏置需要 10V，是否必须双电源供电？

A：ADL5304 是对数转换器，用于将光电流信号对数转换成电压输出。信号带宽与电流大小相关：输入大于 1uA 时，整体带宽大于 4MHz，带宽：25kHz（输入 1nA），350kHz（输入 10nA）。ADL5304 内部提供两种参考输出电压，分别是 1.5V 和 2V，如果前端二极管需要 10V 偏置，该芯片本身无法提供，您可以外面给 10V 的参考电压。

4. 仪表放大器 AD8253 能通过以下供电方式供电吗？

Q：其中 AD8253 的负电压 (VS-) 是由一个运放 (AD8597) 将正 5V 转为负 5V 而得到的。由于电荷泵输出的负电压的纹波太大，有 20mV 左右，所以想换成运放来转换得到负电压。但分别用两种负电压给 AD8253 供电时，AD8253 的工作状态却有明显不同，所以怀疑是供电的原因。

A：对于放大器供电，如果要求高，建议用 LDO 来供电，当然如果对电源电流需求小时，可以用放大器来提供。

电路调试与仿真

良好的电路仿真和调试，可以帮助您少走弯路，加快设计。这里整理出论坛中对调试和仿真相关的问题，方便大家参考学习。

1. 高速运算放大器 ADA4807 替换 OP747 中遇到的问题

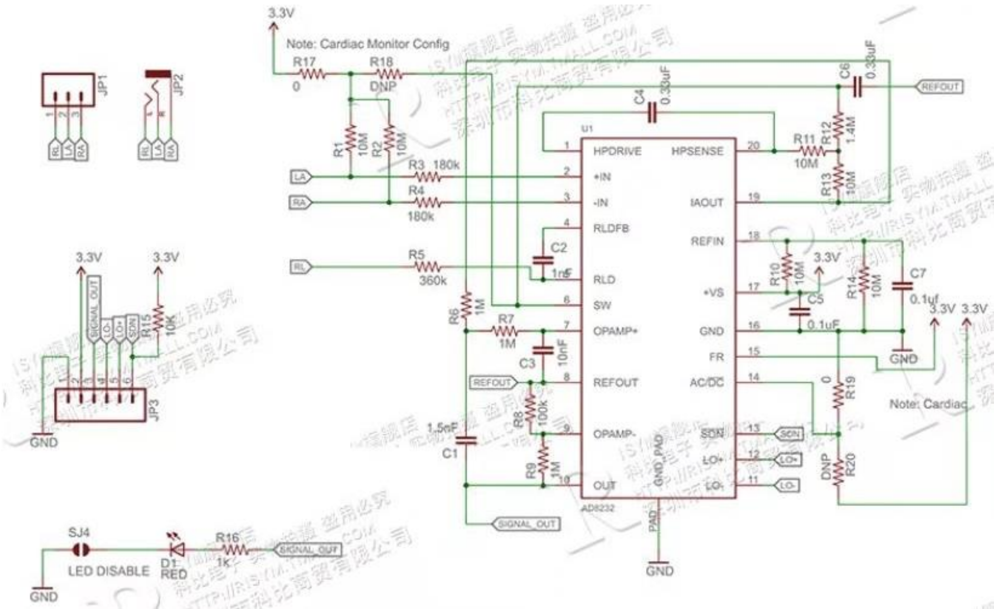
Q：在使用 OP747 的过程中，采用 9V 单电源供电，输入 4.5V 的公模电压作为静态工作点，但是启动速度较慢，输出从 0V 到达 9V 的过程比较漫长，于是想更换 ADA4807 作为尝试的替代方案。但在替换过程中，没有正常的输出波形，并且会对输入波形有一定干扰，请问我该如何正确使用 ADA4807？

A：

1. 考察您的输入信号是什么样的，其等效源内阻是否过大，如果过大可能会导致输出问题；
2. 考察您的负载端，负载端是否会有过高的负载电流，这个可能也会应影响输出；
3. 考察电源，电源尽量选择用 LDO 输出，而不是开关电源直接供电。

2. 仪表放大器 AD8232 心电信号采集前端输出信号出现错误，原因是？

Q：根据数据手册画电路图并打板，并且在信号输出端增加了一个 led 灯，当贴好电极片并通电后，信号输出端经示波器检测为正常心电信号，幅值波动明显，同时 led 灯随着心电节律有规律的闪烁；但是当我把示波器移除，led 灯恒亮，不闪烁，用万用表测量输出端电压，恒定为高电平，且幅值基本维持不变；当把示波器接入后，led 灯又能正常闪烁，电压幅值波动明显，输出正常心电信号。求助原因是什么？



A：

1. 先确认你的电路板的供电是参考大地还是浮地，然后查看浮地的噪声和大地，是否存在类似于示波器显示的那样干扰；
2. 测试供电电源是否存在类似的干扰；
3. 用示波器测试干扰信号的频率，看看周边是否存在同频率的干扰辐射源。

3. 高速运算放大器 AD826AN 发热严重

Q：简单的负反馈放大电路，12V 单电源供电，逐渐发热，但并未烧毁，请问是正常现象还是电路参数可能存在问题？

A：单通道功耗为 7.5mA，双通道为 15mA。你可以监测供电电源的电流是否正常，以及输出是否震荡。

4. 单端转差分放大器 AD8138 低温需要更高工作电压的问题

Q：用 AD8138 按照手册上的接法做 5MHz 信号单端转差分给后级 AD9238 采样。AD8138 供电+3.3V 单电源入不超过 1000mV，输出也是 1000mV，两路差分各路 500mV。低温试验的时候只给了 500mV 输入 5MHz 正弦波，常温下差分输出峰峰值大

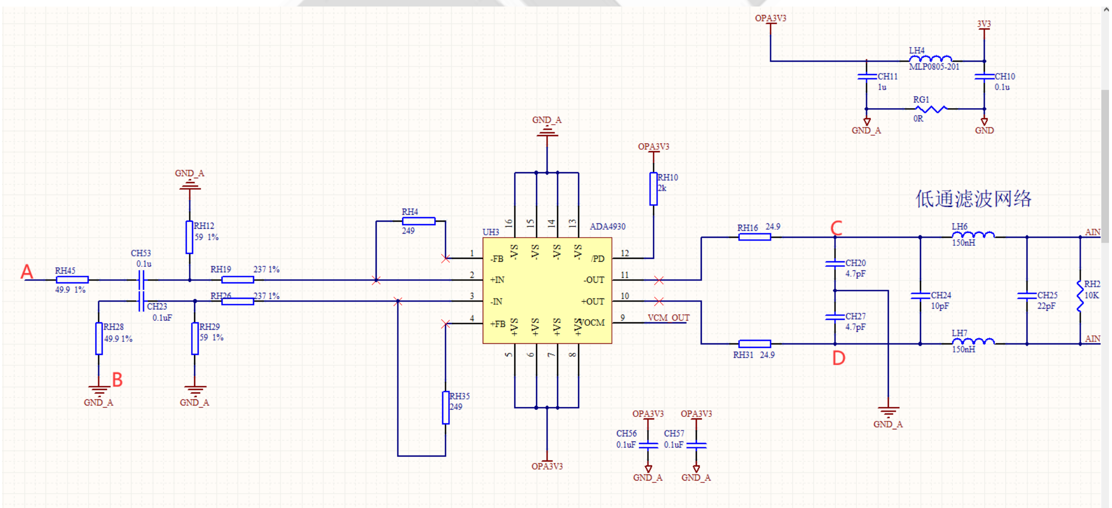
概 240mV 左右。当温度降低到 0 摄氏度以下，差分输出波形失真，且温度越低失真越明显，波形像顶部失真，怀疑饱和了，将 3.3V 改用稳压电源提供，低温-50 度将电源调至+3.7V 就好了。现在给的是+5V，低温试验没问题了。请问低温 3.3V 失真的原因？

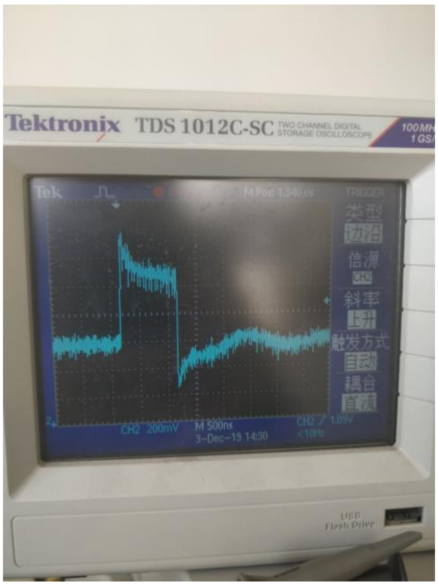
A： 5V 供电下（共模电压 2.5V），最高的电压输出为 2.9V，这样可以估算出你的输出到供电电压之间的需要最大的余量 2.01V，再看你的电路供电电压为 3.3，减去 2.1V，还剩 1.2V 的可以正常输出的区间。但是低温会导致三极管的结电压上升，会导致你的余量电压一定大于 2.01V，所以才会致输出波形失真。

OUTPUT CHARACTERISTICS Output Voltage Swing	Maximum ΔV_{OUT}; single-ended output	2.9	V p-p

5. 关于单端转差分放大器 ada4930 的翘尾现象

Q： 此电路参考 ad9265 参考设计中的 CN0252 中的电路（后端接的也是 ad9265），ad9265 输出 vocm 为 0.9v，在图一 AB 两点输入高电平为 2V 低电平为 0v 的 100K 脉冲信号，占空比为 5%。在 CD 两点测得图二的信号，感觉信号自激了。但是电路完全按照参考设计来的，不知道哪里出了问题。





A：如果该系统是参考大地的，你要考虑示波器的参考地是大地，本来你通过运放把输出的电压抬到了一个共模 0.9V 上，但因为用示波器去测差分，所以强行将拉到 0.9V 的共模电压又拉回到地上去了。这恐怕很难测对。测差分输出需要用差分探头，或者你用两个示波器探头测分别测差分输出信号的一端，在屏幕上对比看。

6. 跨导放大器的输出高阻抗吗？

Q：跨导放大器的输出高阻抗吗？如果想把输出的信号接一个小电阻转化成电压信号直接送入 STM32 的 ADC 采集口是否可以？还是输出级要加入缓冲级？器件型号是 OPA615

A：OPA615 显然不适合做 TIA 电路，因为其输入的偏置电流过高，典型值为+/-3uA，你的 APD 管输出如果是 10uA 那么运放的偏流就会导致你的输出有 30%的误差，这显然是不可接受的。从你的选择来看，似乎输入是一个脉冲电流，如果是这样，一定要用低偏流，高带宽的运放，比如 ADA4817 和 LTC6268。运放只要构成反馈，在其输出负载电流内，都等效为内阻无穷小。如果要求不高，完全可以接入 MCU 的 ADC，但是如果 ADC 是 SAR 型的，需要更高的驱动电流，或者你需要更高的精度，就需要在 ADC 前增加差分输入。这完全是基于你的需求而来。

7. 请帮我看看 AD8009 和 OP113e 在 TINA-TI 中仿真结果是否正确？

Q：最近在做电流调理电路的仿真，电路如图所示……从软件的示波器观察输出信号波形发现能满足要求，噪声分析的结果也很小，但对于 1mV 这么小的信号，AD8009 和 OP113e 能否达到如此效果？AD8009 和 OP113e 模型是否考虑了噪声？

A：模型里面已经包含了噪声特性。另外，您也可以使用手工计算的结果和仿真的结果做个比较。运放的手册中会给出噪声谱密度值，乘以有效带宽后可以得到噪声的贡献。这是运放本身的噪声，另外还要加上外围电阻产品产生的热噪声。看起来，AD8009 的总噪声已经超出 1mV 的范围了。但 op113 这部分噪声贡献还是小于 1mV 的。仿真结果可以做参考，还是建议您使用实际电路测试评估。使用 LTSPICE 来仿真一下，对于 op113 输入侧的 1K 的电阻在 100K 带宽内产生的热噪声为：【4nv/sqrt(HZ)】×sqrt(1.57XBW)，计算后电阻的热噪声已经达到 1.28mV，会将 1mV 的信号淹没掉。

8. 精密放大器 OP1177 模型在 TINA-TI 新建宏从库中加载外形不成功

Q：在 ADI 官网上下载了 OP1177 的 cir 模型文件，在 TINA-TI 仿真软件中将 cir 文件转为 TSM 文件，在选择从库中加载外形时，点击下一步没反应，而选择自动加载外形能生成 TSM 文件，但此时搭建的模型是矩形的，没有运放的样子。

A：您讲的是仿真时元器件的 symbol 是矩形吗？很抱歉没有使用过 TINA-TI 仿真软件，但这个 symbol 和模型文件本身是没有关系的。symbol 应该是可以自己创建或者编辑的。symbol 的形式不影响仿真结果。建议使用功能强大的 LTSPICE 仿真软件。

应用设计探讨

如何能将技术问题与具体应用挂钩，对于其他人或许更具参考性。论坛中绝大部分的问题是就具体电路细节问题的交流，偶尔有就具体应用设计提出的问题，我们将这类问题单独整理出来，方便从事相关电路、产品设计的工程师朋友们参考。

1. 仪表放大器 AD8233 的 IN+和 IN-使用不同材质的电极，对心电图的影响

Q： 使用 AD8233 时，在输入端 IN+和 IN-使用不同材质的电极与人体接触，会影响心电图的质量吗？

A： 对信号质量不会有影响，但是会带来一些新的问题：不同的电极有不同的 half potential 电压，这在 8233 的输入端会形成一定的差分电压，这可能会影响到 8233 的动态输入范围，如果在输入允许的范围内，那么在做信号处理时，需要把不同电极引入的差分电压去掉

2. 关于仪表放大器 AD8422 使用的一些问题

Q：

1. 我们的检测方案是在电路上串接 100mR 的电阻，电流 1uA 时，使用仪表放大器 AD8422 放大 1uV 的电压，放大 G 设置在 100，再使用 ADUCM360 的内置 ADC 进行检测，这个方案是否有改进空间？
2. 从精度的角度考虑，AD8422 是采用双电源还是单电源？
3. 失调电压/电流可达到 50uV 以上，这部分误差如何解决？ADUCM360 是否有算法可以消除？
4. 在 AD8422 上加上了 5V 带缓冲的 Vref，在 ADUCM360 上外加 5V 带缓冲的 Vref，想从理论上了解这样设计的原因是什么？

A：

1. 电流采样电阻太小了，1uA*0.1R = 0.1uV，我不知道这个 1uA 是不是你系统采样的电流的最小分辨率，如果是，这就要求运放的输入端的电压噪声的峰峰值一定要低于这个电压值 (0.1uV)，如果 1uA 是电流满量程，那么这个 1uA 还需要处于分辨率的码值，比如，如果是 8bit 的 ADC，那就需要 1uA/256，从而得到你希望的电流的最小分辨率，将这个电流最小分辨率乘以电阻值得到一个电压值，然后选择运放输入的噪声一定要小于这个电压值，不然运放输入端的噪声会淹没掉你想要的真实信号；

2. AD8422 的参数表中的值都是基于双电源+/-15V 供电条件下测得的，所以尽量选择双电源供电；

3. 系统需要校准，这个电流采样系统中的误差不仅仅包含了运放的失调电压，还有电流采样电阻的精度，ADC 的线性度和失调等等误差，你需要对这个系统的信号链做校准；

4. Vref 的理想状态是内阻无穷小的理想恒压源，AD8422 的 ref 端在内部有一个电阻，如果 Vref 的输入电压源有一个等效的内阻，就会与 AD8422 内部的电阻串联而影响了芯片内部的电阻匹配，这样会导致增益产生误差。而给 ADuM360 的 ref，重点要考虑基准引脚的输入电流，电压基准芯片有一个指标是负载调解率，意思是当负载电流变化时会导致输入电压产生波动，所以基准芯片需要一个额外的 Buffer 给 ADuM360 的 ref 引脚供电。具体请参看我们的一篇 Application Note：Voltage Reference Design for Precision Successive-Approximation ADCs。

3. 传感器放大器 AD698 工作时，芯片的温升较大原因是？

Q：AD698 按数据手册 figure7 参考电路接线。输出电压正常，输出电压随磁芯的运动而变化。但是芯片的温升比较大。有烫手的感觉。有资料显示是与输出电流有关。那么在传感器线圈确定的情况下，如何降低输出电流呢？且有文章说明，在 EXC1、EXC2 后面接运放，使用运放对传感器线圈供电，以降低 AD698 的输出电流。我的激励频率设置在 10KHz，建议采用什么型号的运放呢？或者有什么其他办法，降低 AD698 的输出电流。

A：输出电流的大小取决于你的负载情况，如果负载固定，最好的办法是增加功率输出，先测试一下输出的实际电流为多少再选择相对应的有更高输出能力的运放。

4. 运算放大器 AD8605 如何用于 protelDXP 2004

Q：需要利用 AD8605 在 protelDXP 搭建模型，并且建立相应的 PCB 板图，但是 protelDXP 中没有 AD8605 的模型，如何获得可以运用于 protelDXP 的模型，即元件。

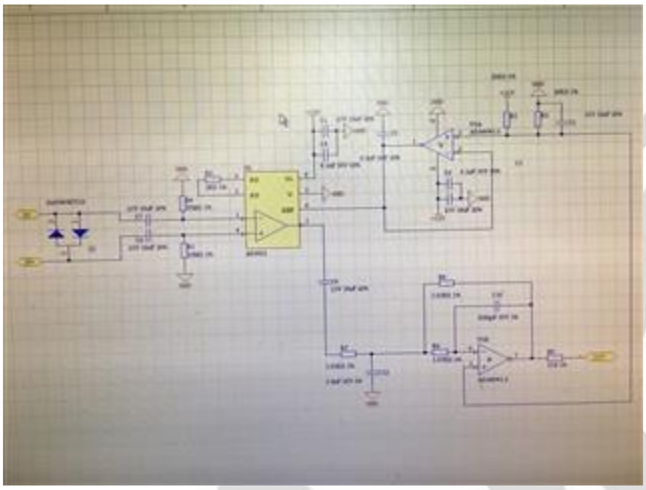
A： 我们给 ADI 的器件提供 BXL 的 symbol 和 footprint，请参考上面的链接。

另，ProtelDXP 软件应该会允许用户自己画 symbol 和 footprint，在网上找找相关资料。

https://www.analog.com/en/design-center/packaging-quality-symbols-footprints/symbols-and-footprints/AD8605.html

5. 仪表放大器 AD8421 未能正常工作的几点疑问

Q： 设计了一个电源供电的仪表放大器电路放大 + 滤波电路图如下：



使用时发现工作不是很正常，有如下几个问题：

1. ADA4841 发烫，工作电流不正常，为 20 几 mA
2. AD8421 的输出电压直流偏置不是 6V，而是 6.5V 左右，而且不稳定。但是 REF 引脚的输入是 6V。
3. 输入信号动态范围太小，AD8421 放大量为 10 倍，但是输入 300mVpp 的时候就失真了。（所加信号不是差分信号，是信号源直接加的）

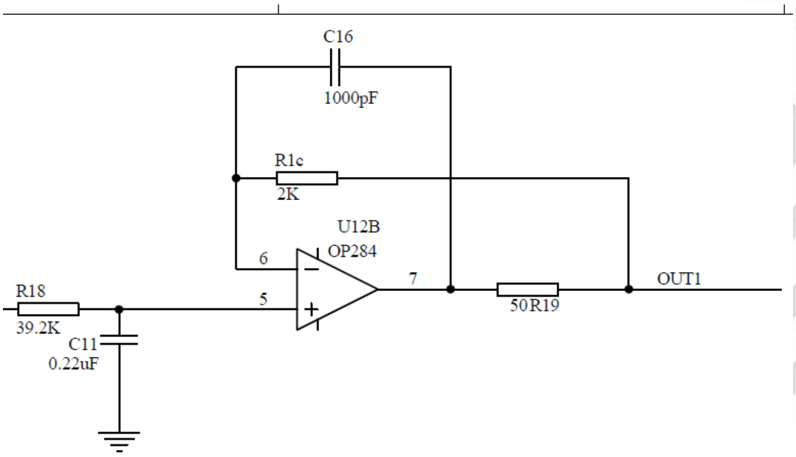
A：

1. ADA4841 的+IN 引脚接到哪里？两片 ADA4841 的输出用示波器看看有没有震荡。
2. AD8421 单电源的情况下，输入共模不能是 0。您参考一下这个设计工具：

http://www.analog.com/designtools/en/diamond/#difL=-0.1&difR=0.1&difSl=-0.1&gain=100&l=-8&pr=AD8422&r=8&sl=-8&tab=1&ty=1&vn=-15&vp=15&vr=0

6. 关于运放输出自激问题

Q：使用 AD620 和 OP284 组建的应变桥式微小信号放大电路应用中（使用 AD620 将微小信号放大 100 倍，再使用 OP284 组成反相放大器放大 5 倍，最后使用 OP284 做跟随输出），发现在运放 OP284 输出端接约 30 米长电缆后采集到的数据带有一个自激噪声，噪声频率 500KHz-1MHz 之间，幅值约 200mV（峰峰值）。运放输出电路如下：



输出电缆长度约 30 米，非屏蔽非双绞，调试过程如下：

1) C16 为 10pF 时，OUT1 处叠加一个频率 1MHz，幅值约 200mV 的自激干扰；
2) 将 C16 增大，比如修改为 1000pF，自激现象没有消除，但自激信号的基频约 500KHz，并且叠加有更高的频率成分；
3) 将 R1C 接 OUT1 的连接点修改连接到 U12B 的输出 7 脚，并修改输出串联电阻 R19 的大小为 100 欧姆，240 欧姆，干扰没有改变。

A：负载导线 30m，其等效的电感和电容已经非常大了，相当于你在负载端接了一个 LC 谐振电路。而这个谐振电路的频率是 500kHz 到 1MHz，你尝试缩短和拉长导线，你会发现频率会有变化。以你目前的电路来看，这个相位裕度肯定是不够的。把 C16 提高到 10n～100n，R1 提高到 10k，输出电阻 50R 改到 100R～200R，据此来调试。要想保证不振荡，尽可能的调大这三个值。

7. 如何搭建一个高压交流放大器？

Q： 如何搭建一个高压交流放大器，要求输入 1-10MHz 10Vpp（HP33120A 提供），输出 100Vpp，电流 300mA？什么器件合适？

A： ADHV4702 外面再用 mosfet 加功放可以实现。备注：这个带宽肯定不够，需要换一个 200M GBP 的运放做前级去驱动功放，关键看选择功放 mosfet 是否可以达到 300mA，10MHz，以及 100V 的高压，这个确实有难度的，如果电压要求不高，可以考虑 ADA4870。

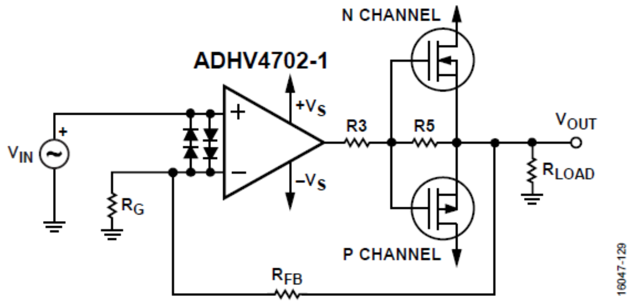


Figure 62. High Current Output Driver Schematic

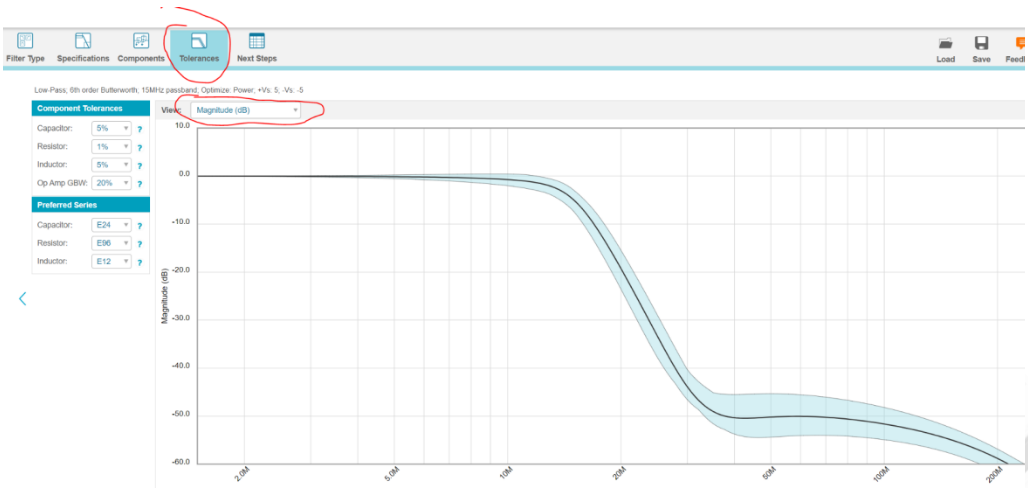
Q： 如何实现 2G 速率，峰峰值为 2V 的交流信号模拟相加？

A： 如果对频率要求不是这么高，电流型反馈运放，AD8003 可以试一试。

8. 低通滤波器设计和仿真不符

Q： 通过 ADI 的 Filter Wizard 设计了一个六阶低通滤波器。Fc = 15M，32.5M 时-40dB。设计文件为附件中的 Design。之后我导出了它的 Ltspices 仿真文件，但是没能找到对应的仿真文件，只能自己搭建了一个仿真电路。结果与 Wizard 不同，截至频率只有 12M，且在 32.5M 时只有-26dB.请问是什么原因呢？

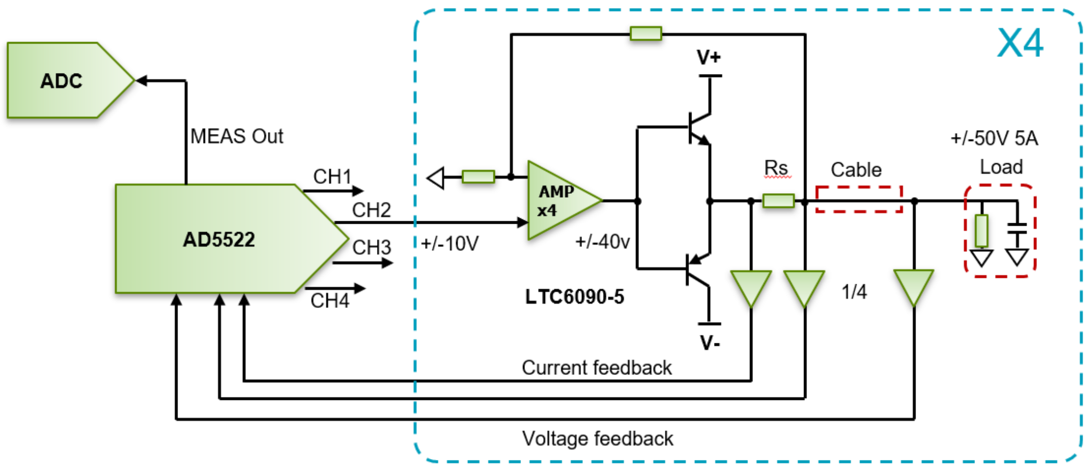
A： 这个误差是由于电阻和电容选型导致的，因为计算机计算出了无源器件的值是很难在现实中找到的。电阻有标准电阻的阻值表，电容也有标准电容表.计算机只能选择最接近计算的值的电阻电容和电感。你可以在软件的 Tolerances 中找到答案，他会通过图形告诉你误差的范围。



9. 如何利用四参数测量单元 AD5522 怎么设计一个正负 30V 的 PPMU?

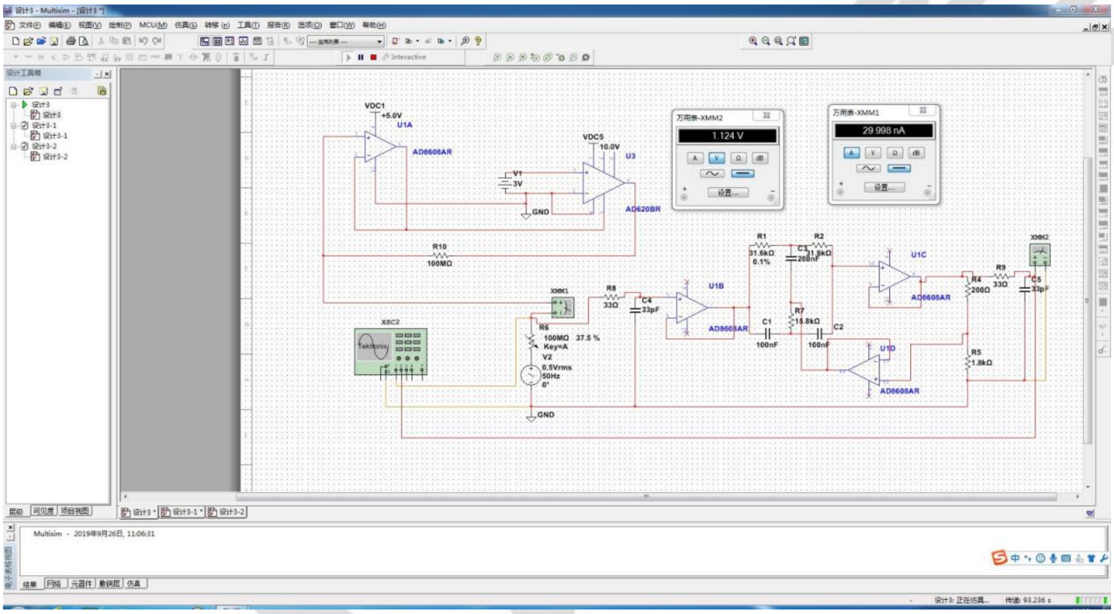
Q: 利用 AD5522 怎么设计一个正负 30V 的 PPMU? AD5522 输出电压最大只能输出正负 11V 左右，而需求是 30V 的。不知道用 AD5522 能否设计出 30V 的 ppmu? 如果利用升压电路可以解决，硬件的方案是如何的呢?

A: 目前 ADI 内部有个 DPS/SMU 的参考设计正在进行中，就是基于 AD5522 来扩压扩流完成+/-50V 5A 的四象限电源或 PMU、SMU 的设计的。AD5522 后面加高压运放(LTC6090-5) 完成扩压，扩流的话用功率三极管推挽电路来实现的（类似音频功放电路）。但是如果你对电流的需要只要 1A 以下这种级别的，也可以用 ADA4870 的扩压电路就可以实现，稍微简单一些。主框图如下。



10. 仪表放大器 AD620 数据手册应用示例中 U-I 转换器问题在实际过程中出现的问题

Q：先使用 NI Multisim 仿真了该电路的设计原理图，其中 AD620 使用单电源。在实际过程中出现了 AD620 的 5、6 管脚之间的电压差是 1.18V 左右。根据放大器的手册，他们之间的差值不是应该是固定的吗？和输入一样吗？怎么会出现这种现象。而且恒流源在电阻的变化过程中会出现由大变小的现象。是否 AD620 必须使用双电源。且 V-不能接 VSS。做恒流源时他的最小电流能做到 30nA 吗？



A：仪表放大器的输入输出范围与电源供电，增益，REF 电压有关系。建议您用下面链接的工具仿真一下，也可以用 LTSPICE 进行仿真。可以参考：

https://tools.analog.com/en/diamond/#difL=-0.1&difR=0.1&difSl=-0.1&gain=100&l=-8&pr=AD8422&r=8&sl=-8&tab=1&ty=1&vn=-15&vp=15&vr=0

11. 测试差分放大器 AD8132 带宽，实际测试带宽与数据手册推荐值不一致

Q：测试 AD8132 带宽时，原理图完全按照手册推荐电路设计，PCB 为双面板。大信号 Vout = 2Vp-p 下，G = 1，实际测试带宽只有 254MHz，手册推荐值是 350MHz；G = 2，手册值是 190MHz，实际测试 136MHz。请教这是什么原因。

A：频率比较高的时候后，PCB 的电路板寄生参数会对带宽测量有很大影响。请阅读 Page 25 页的“LAYOUT, GROUNDING, AND BYPASSING”，建议使用四层 PCB。

Q：请问如下方法是否正确：

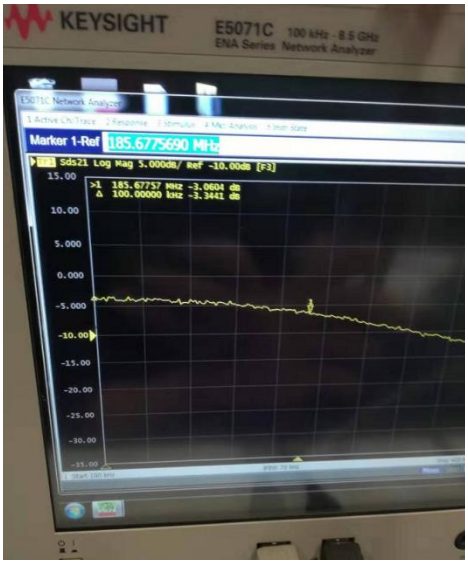
1. 根据手册提供的测量条件，-3db 条件下，Vout = 2Vp-p，增益 G = 1，换算出 Vin = 2.8Vp-p。
2. 通过示波器观察，设置信号源 E4438C 输出幅度，达到 2.8Vp-p（注：整个测试系统采用 50 欧姆匹配，包括示波器、信号源、待测板卡等均采用 50 欧姆）。此时，对应信号源 13.04dbm（此处可通过公式换算进行验证，注意电压有效值为：U = 2.8Vp-p/(2*1.414)）。
3. 一直增加信号源输出频率，使 Vout = 2Vp-p，即单端 Vout 信号在示波器上显示 1Vp-p 时，此时达到-3db 衰减。

A：这就是另外一个问题了。我们资料上的频响图是用网络分析仪测出来的。测试环境与您的不同，测试结果也会不同。所以两点造成了结果不同，一是 PCB，二是测试仪器。我们提供 EVAL-FDA-1RZ-8 的评估板，可以购买，焊上 AD8132 试试看。

https://www.analog.com/en/products/ad8132.html#product-samplebuy

Q：请问小信号增益带宽的测试是用网络分析仪做的，网络分析仪不支持大信号。测试条件：G = 1，如下测量方法：

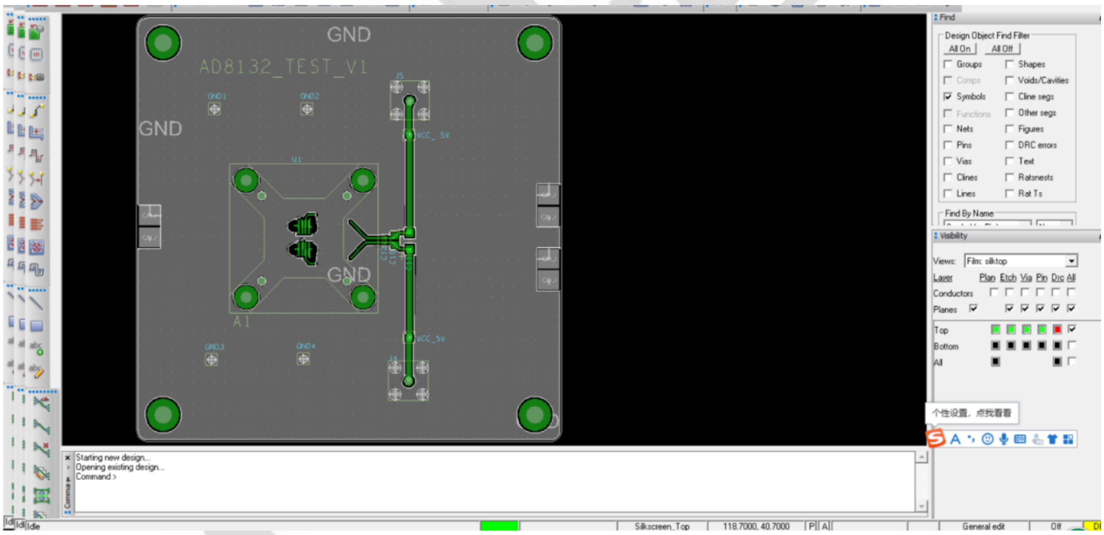
1. 采用 E5071C 网络分析仪。先使用标准校准件进行仪器的电子校准。
2. 连接好网络分析仪和板卡（G = 1 板卡），1port 输出，2、3 输入，根据 VOUT = 0.2Vp-p，换算出网络分析仪的输出功率，即 10lg((UxU/R)/1mW) = -0.969dbm，此处由于运放的线性增益，直接采用 U = 0.2V。设置 Vref = 100K 起始频率，此处是 0db 衰减点。
3. 设置 mark1，向曲线右端滑动寻找相对于 Vref 衰减 3db 的点，并读数。测量结果如图：



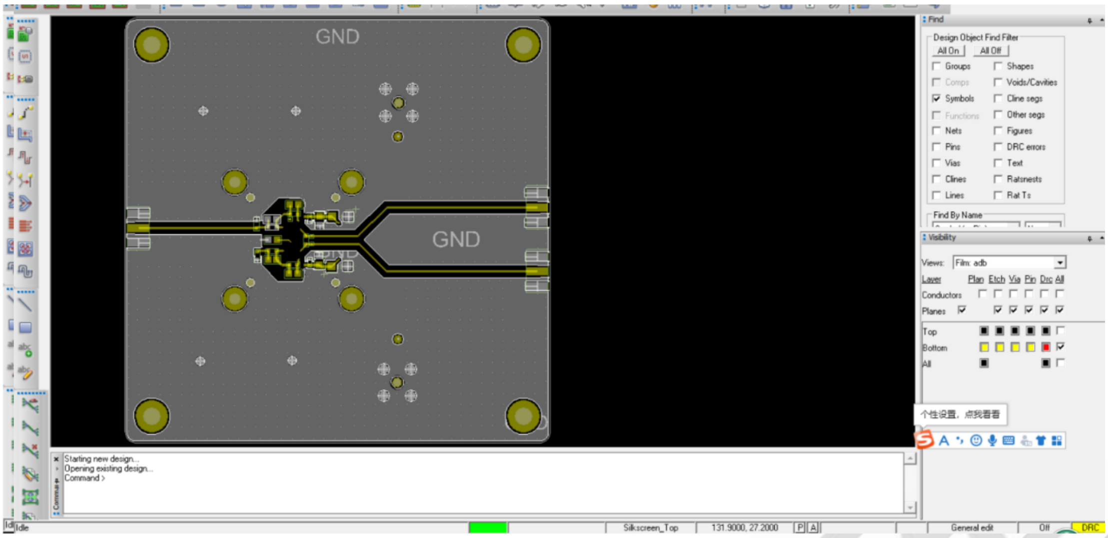
手册给定值 350MHz 带宽，实测 185MHz。

帮忙确认下，这个曲线是否正常的。如果正常，那么应该只剩下 PCB 的问题没有排除了。pcb 如下图：

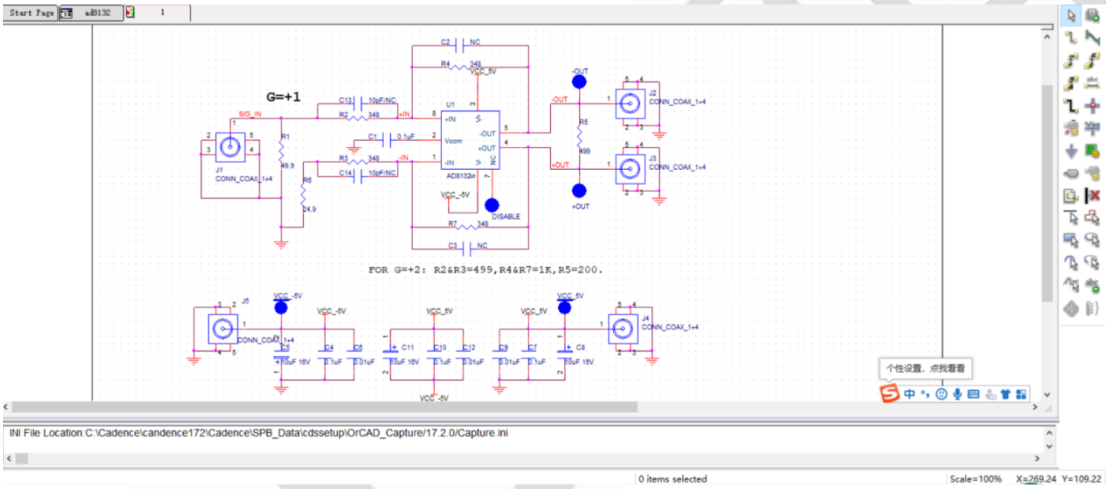
Top：



Bottom：



原理图：



A：测试没问题。主要是 PCB 层数，另外走线要短，你现在的输入和输出走线很长。

12. 单导联心率简化前端 AD8232 在可穿戴设备应用上的设计

Q：

1) AD8232 用于可穿戴设备上，特别是智能手环上，电路设计如何做？特别是电极部分如何操作？

2) AD8232 作为单导联 AFE 用于心电图检测，其准确性如何？

A：AD8232 是单导联心电模拟前端，非常适合便携式的 ECG 检测。但是根据 ECG 测量原理，单只手是没发测量的心电的。需要两只手接触两个电极，或者用在胸部。

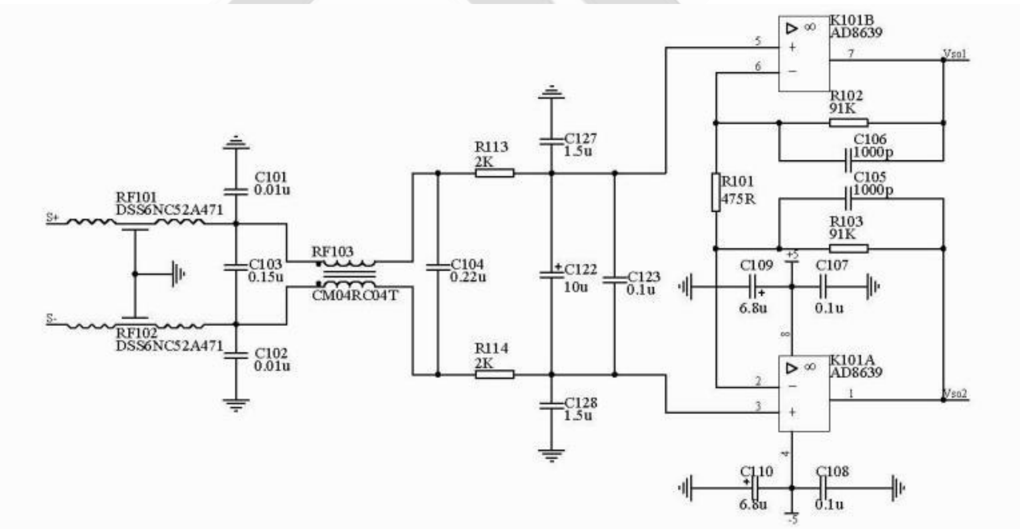
13. 应用双通道运算放大器 AD8512 测量高阻器件电压

Q：我想做的是一个测量高阻器件上电压的电路，测量 DC 电压，器件阻抗大约是在几百兆。第一步做的是跟随，用的是 JFET 高输入阻抗的 AD8512。电路如图。但是问题是当正向输入端接上这个 100M 的电阻时，会降低输入阻抗，这个无法接受！

A：首先关于第一个问题，输入阻抗在接入 100M 电阻时降低，这个是一定的。因为本身 AD8512 输入阻抗非常高，加入 100M 后相当于两者并联。自然阻抗被降低了。关于第二个问题，输出锁定在很高的值，如果是输入悬空的状态下，应该没有办法实现您提到的功能。其实不是一定要在运放这边处理来实现您说的输入悬空时，让 buffer 的输出为 0。可以在电压表这个系统中的其他模块中实现该功能，比如，放大器后面可以加比较器之类的判断器件，当运放被锁定在很高输出值的时候，就认为输入悬空，这时可以强制后面的 ADC 等输出 0。

14. 低输入偏置电流放大器 AD8639 做电阻应变称重传感器放大器求助

Q：用 AD8936 做电阻应变称重传感器时，输入连接传感器，传感器未加符合时，输出出现反相饱和现象，传感器增加负荷，输出也没有任何变化，是怎么回事啊？



A：首先应该确保两颗芯片都能正常工作，在此基础上检查输入范围，以及放大后的输出范围是否满足数据手册的要求，如果放大后的输出超出了额定值，则可能出现饱和反偏现象。

15. 电池功耗放大测量问题

Q：需要测量一个电池的放电电流，转换成测量这个电池放电回路上一个电阻的电压问题。该电池电压 3.6V，放电电流一般是 9uA，电阻为 100 欧左右，所以一般情况下，电压值为 0.9mV 左右。但也有的精度很高的，功耗只有 0.1mV，我的单片机是 12 位的，测量精度没这么高，所以需要放大。请教各位，什么样的差分放大芯片适合我这个电路，且能放大 1000 倍，电路设计中需要注意那些要点？

A：ADI 有一系列电流检测芯片，芯片型号为 AD821x 系列。如果想要处理电路的干扰，而且想要由放大芯片直接处理掉的话，可以考虑仪表放大器，手册中一般会给出如何设置滤波网络，如 AD8221。其增益可以通过外部电阻改变。

16. 水份检测前级信号处理 IC 的选择

Q：现在市场上的那种检测人体皮肤水份的产品，前极处理 IC 有推荐的吗？后级用 MCU 检测模拟电压值。检测头就是一块交插式的 PCB 板，好像需要交流信号，需要从 MCU 口输出 PWM 信号经过放大给检测板，前极处理 IC 用 ADI 的有吗。

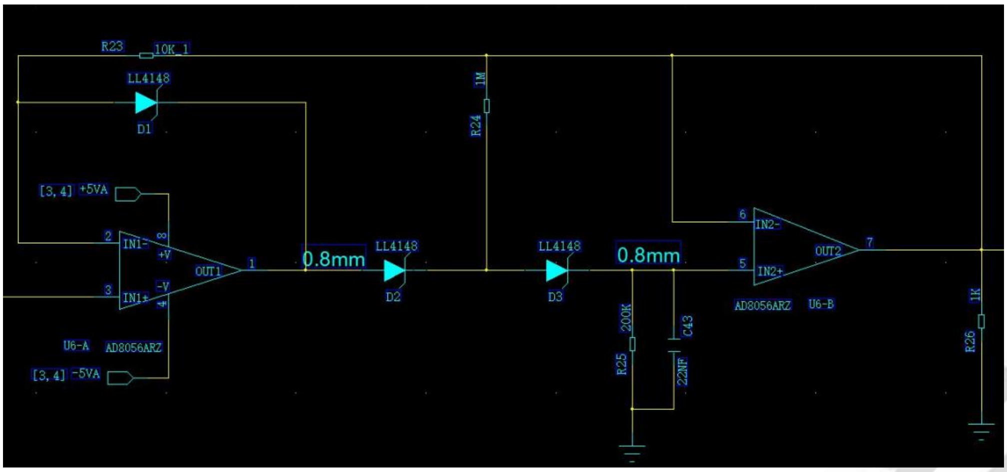
A：如果考虑对 MCU 的 PWM 信号进行放大，需要根据 PWM 的上升下降沿来选择高带宽的、大压摆率的放大器；如果考虑集成的阻抗测量方案，您可以参考一下 AD5933 和 CN0217。

网友实际电路分析

ADI 中文技术论坛不仅有 ADI 专家更有很多具有实战经验的工程师，本章节为大家搜集了在放大电路中他们的经验与资料，供大家学习参考。

1. 运算放大器 AD8056ARZ 电路原理分析

Q：能否帮忙分析一下如图电路中，R23 这个 10K 电阻的作用是什么？R24 这个 1M 电阻作用是什么？D1，D2，D3 的作用又各是什么？



A：这是个峰值检波器，比如输入+/-500mV 正弦波，输出为 500mV。电阻，二极管的作用，建议你仿真看一下，就清楚了。附件是 LTSPICE 仿真文件。

Peaking Detection.zip

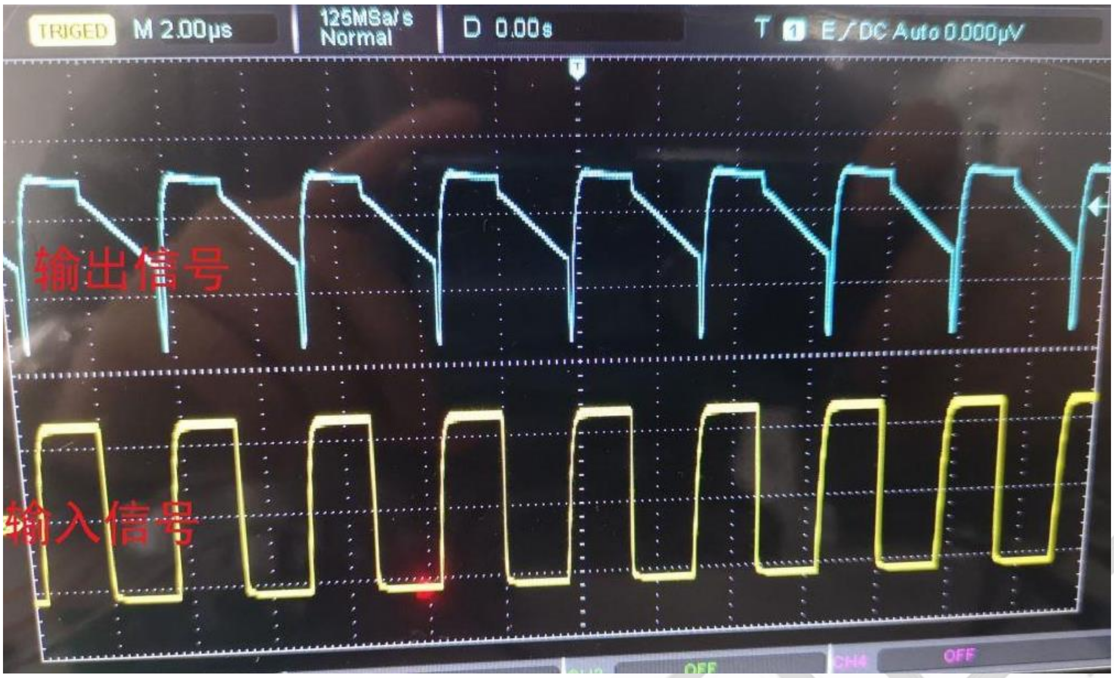
2. 在正向电源和负向电源不同时供电，视频运算放大器是否会出现异常？

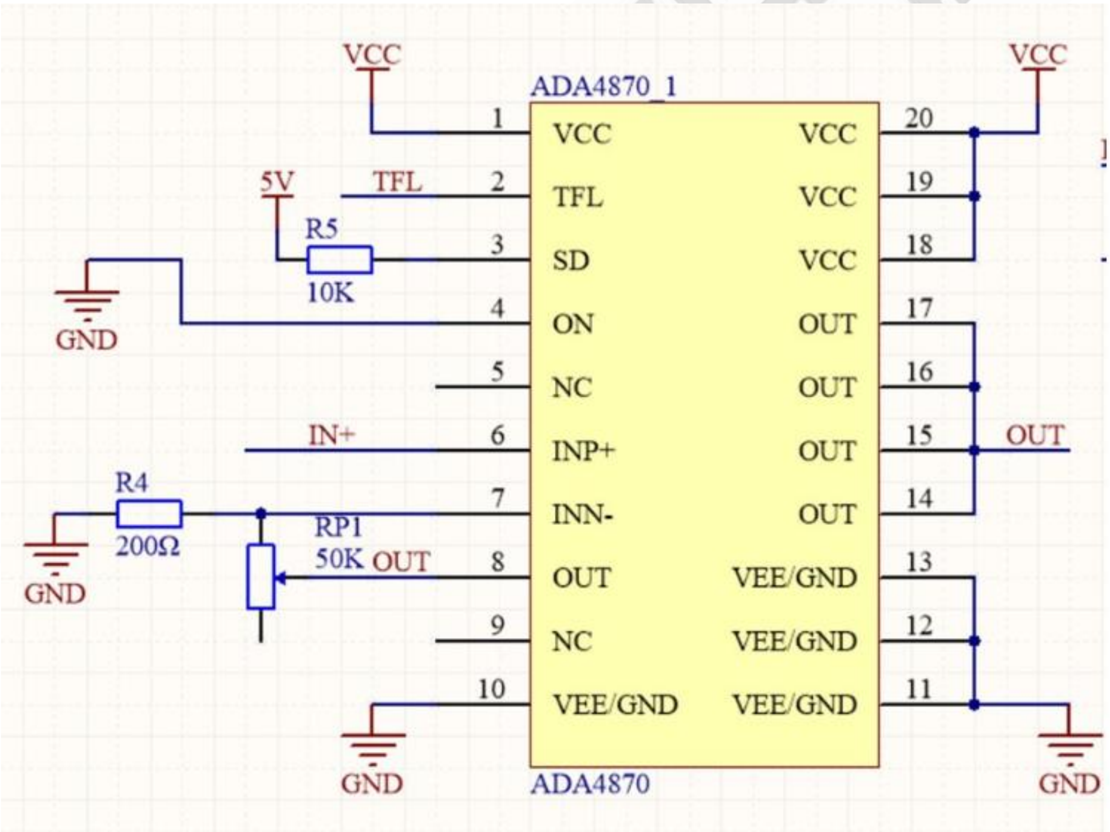
Q：AD8052 和 AD8138，如果正向电源和负向电源不同时供电，这两个运放工作会有什么异常么？

A：异常情况很难说，这个同时还取决于你的输入端情况和负载情况，正负供电的时间差，电源电压的建立时间等等。最好还是要让他工作在正常状态，即便供电可能会有时序问题，也尽量让其时间间隔尽量的短！

3. 高输出电流放大器 ADA4870 在超过 100khz 时下降沿失真严重

Q：ADA4870 工作在 10khz 以下时，输出端基本不失真，但是超过 100khz 下降沿失真严重，请问这是怎么回事？





A：对于电流型反馈的运放，其反馈电阻 RP1 的阻值决定了 ADA4870 的带宽，其中 RP1 越小其带宽越大，你可以试一试看！

4. 可变增益放大器 AD8368 一直有 20dB 的增益，并对信号的输入造成了衰减

Q： 使用官网的 VGA 电路图，AD8368 一直有 20dB 的增益，而且对信号的输入造成了衰减，这怎么解决？

A： 要看输入信号的幅度和带宽，增益会受到带宽和幅度的限制

5. 关于低输入偏置电流放大器 ADA4530-1GRD 引脚如何连接的疑问

Q： 在 ADA4530-1 数据手册中写道：

TIA 电路的保护电压标称值等于 B 电压，故而可以直接由 B 电压驱动保护环，而无需使用 ADA4530-1 保护环缓冲器。用这种方式实现保护环时，请勿连接保护环缓冲器输出（引脚 2 和引脚 7）。然而，在 ADA4530-1R-EBZ 中，引脚 2 和引脚 7 是连接到一起的。我的问题是在 TIA 电路中引脚 2 和引脚 7 究竟是否能连接，另外，如果将保护环连接至 GND 是否会有影响？

A： 有几种玩法：

1. UG-865 中，2 脚和 7 脚都用到了，因为此时的 guard ring 连到了 2 脚和 7 脚。2 脚和 7 脚都用到的原因，因为我们不知道客户会用评估板搭 BUFFER 还是 TIA，所以评估板 layout 时考虑了兼容设计，2 脚，7 脚都用到了。其实就是芯片资料中的 Figure 121 和 122 的集合。注意此时的 2 脚和 7 脚跟 GND 没有直接连接。
2. 按芯片资料中的 Figure 121 或 122 来连接。
3. 如果是 TIA 电路，“TIA 电路的保护电压标称值等于 B 电压，故而可以直接由 B 电压驱动保护环，而无需使用 ADA4530-1 保护环缓冲器。用这种方式实现保护环时，请勿连接保护环缓冲器输出（引脚 2 和引脚 7）。”，此时保护环是要练到 GND 的，即 B 点电压。

6. 仪表放大器 AD8429ARZ 输出有 DC 偏置电压，解决办法是?

Q：仪表放大器 AD8429ARZ 作自感应微悬臂测量第一级调理，悬臂有效共振频率范围在 14KHz-1.3MHz，电桥输出 200uV-1mV，测量幅频信号，Gain 为 20，输出端存在十几 mVDC 偏置电压（不对称），这是我不想要的，如果换成 AD8429BRZ 是否会有改善？请问想要消除这个 DC 电压，什么方式对信号相位影响最小，一、通过 AD8429 的 VREF 端用伺服反馈高通滤波方式，二、独立的高通滤波。或者有其他好方法来放大这个谐振信号？另外，仪表放大器 AD8421 和 AD8429，在测量高频小信号哪一个棕合性能更优秀一些？其共模抑制比，输入输出电压噪声，电压漂移，动态范围，压摆率等方面，目前有没有性能更好的仪表放大器产品？

A：按你现在的配置，输出 DC 误差应为 150uV*20 + 1000uV = 4mV。你可以不要接传感器，只把 AD8429 两输入短接到地，测输出误差，看是否小于 4mV。

另一项输出误差可能是由 300nA 的偏置电流流过外部传感器电阻产生的。

可以用一的方法，参考 AD8221 芯片资料的 Figure 52。

7. 高输出电流放大器 ADA4870 评估板背面过孔和散热器不会短路吗?

Q：PCB 背面的过孔，使用红色圈起来了，安装铝散热器的时候，不担心散热器和过孔里面的电信号短路吗？如何保证绝缘的？

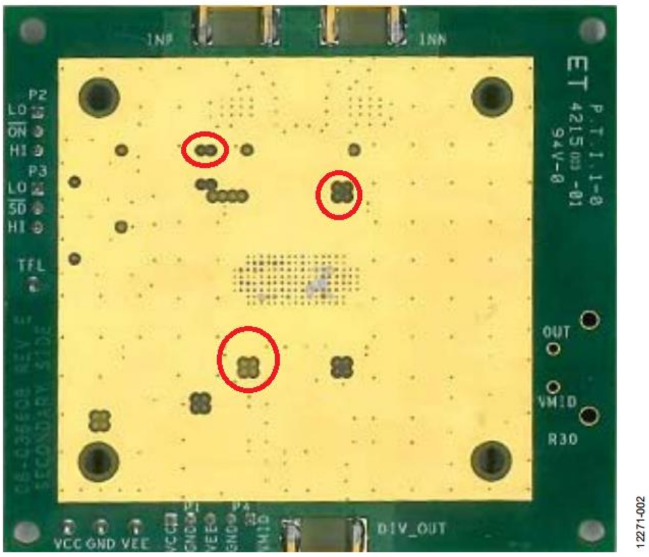
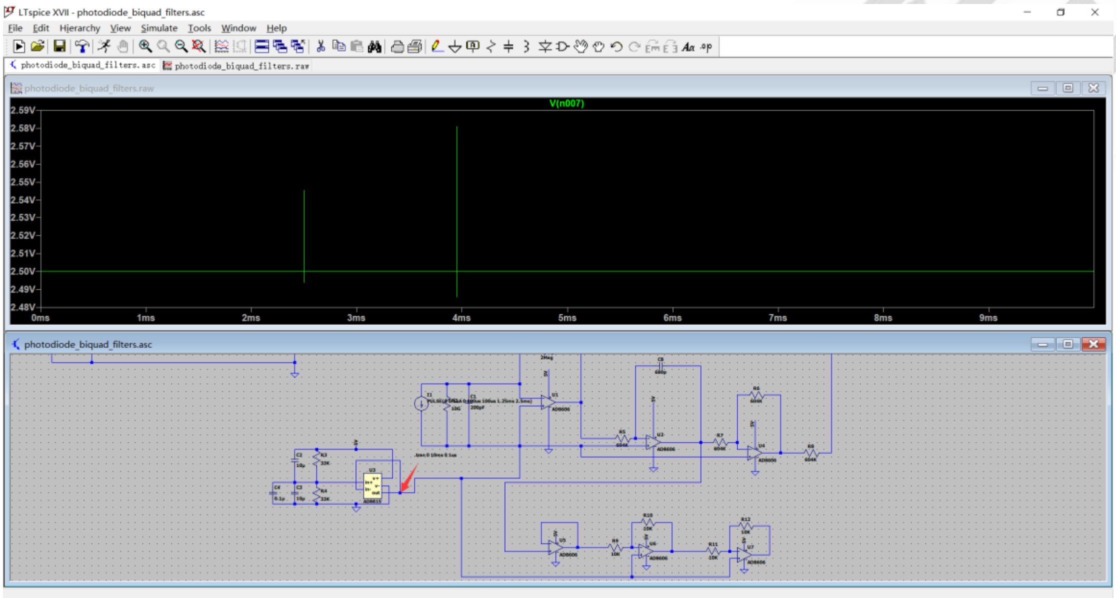


Figure 2. Evaluation Board, Bottom Side

A：您好，这个板子的背后的信号线的过孔往里沉了，而散热铜箔的面更靠外。所以能够保证绝缘。为了更好的散热，增加散热器的同时，也需要在 PCB 与散热器之间涂导热硅胶。导热硅胶导热而不导电，也能够保证绝缘。

8. 低噪声放大器 AD8615 输出的电压信号产生了尖峰的原因

Q：5V VCC 经过电阻分压后产生 2.5V 电压，该电压经过电压跟随器为余下运放提供虚地，AD8615 输出的电压信号产生了尖峰，原因是？



A：大概率是你的电流脉冲 I1 导致的，你可以尝试把电流脉冲的参考用一个理想电压源 2.5V 来设置，看看是否还存在此情况。pulse 电流脉冲是需要抽拉电流的，有的运放可能无法输出或者吸收那么高的电流才会导致此问题。

9. LTSPICE 中的电路瞬态仿真的几点疑惑

Q：LTspice 的瞬态仿真为什么先计算电路的静态工作点？在找到电路的静态工作点之后，电路发生振荡的原因和仿真的运算有关吗？

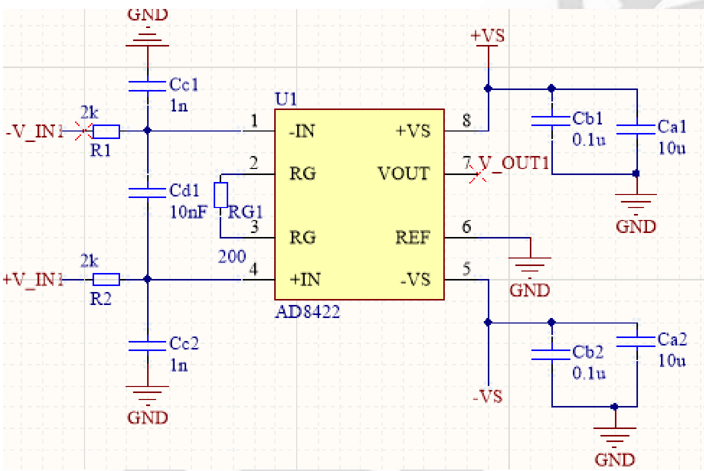
A：LTspice 一般都是先计算出静态工作点，然后再计算基于静态工作的点阻抗和电导值，再基于此计算节点的电压和电流，然后才有瞬态波形的值，电路振荡，是设计的电路没有满足稳定的条件，才振荡。稳定条件可以参考奈奎斯特稳定判据和劳斯判

据。工程方法是用 bode 图查看其增益裕度和相位裕度。

10. 多通道微小电流检测电压的放大，采用仪表放大器 AD8422 的输出失调问题

Q： 我使用了 AD8422 这款仪器放大器做多通道微小直流电压（0~30mV）的放大，采用 200ohmRg 放大倍数设置 100，电路是参照技术文档的，+-12V 线性电源芯片双电源供电，做了 RFI 滤波，每个芯片的电源都加了旁路电容，只是我用的放大器有点多，现在有两个问题：

1. 输出零漂是 mV 级的一般有几 mV 而不是 uV 级。
2. 当全部一起测试时，输入变大后，输出变成了正弦波，后端数采的电压波动很大，请问问题出在哪儿？



A：

1) 这么多通道，建议先调准一个通道。

2) 建议使用+/-Vin 短接测试，否则输入处 R/C 无确定电位，会引入环境工频干扰信号。

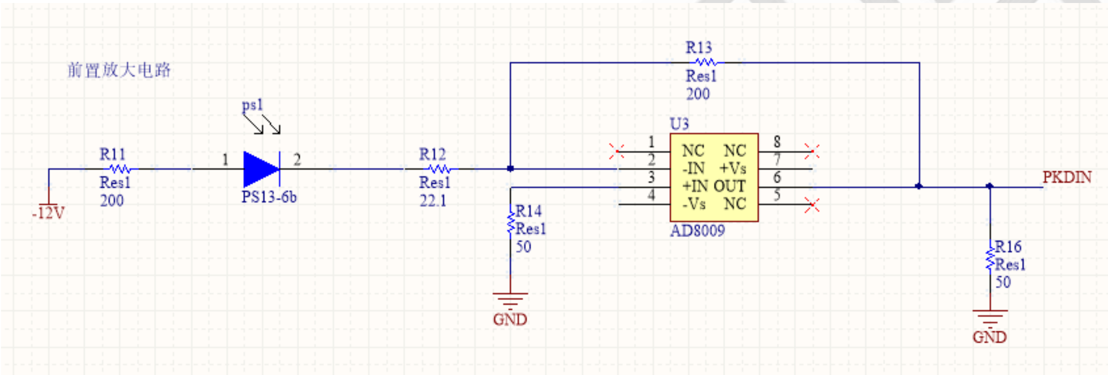
3) AD8422_cn datasheet P3/24，“失调电压-输入失调，VOSI”，A 档典型值是 60uV，按增益 100V/V 放大，体现到输出会是 6mV。加上“输出失调，VOSO”的 300uV，合计 6.3mV。

4） 更为专业的，建议用 LTSpice 做个 Noise 仿真，免去了手工解算，不够全面。

关于振荡，需要看一下 AD8422 的负载情况，如果驱动容性负载偏大，会导致振荡。用示波器一级一级的查看波形，记录振荡的频率和幅度，同时调整你的输入条件，比如同时采样两个通道，同时采样三个通道……，看输出波形的变化情况，这样可以慢慢推断出来问题的原因。

11. AD8009 作反向运算放大器出现较大的自激振荡

Q： AD8009 实际电路图如图所示，电源部分省略，在运行的时候出现较大的自激振荡，反馈电阻使用的是芯片手册推荐的值，请问这种问题如何解决？



A： 我想你的光电二极管处于反偏状态，AD8099 电路是用来测 PS13-6 产生的电流。那么这是 AD8099 电路中不应该有 R12 这个电阻，光电管产生的电流流过 R13 电阻，在输出产生电压。如果是这样的电路不稳定，建议在 R13 上并联一个电阻串一个电容，电阻比如 100ohm，电容 20pF~1nF。你可以试试。

LTSPICE 用来仿真您的电路也是个不错的选择。

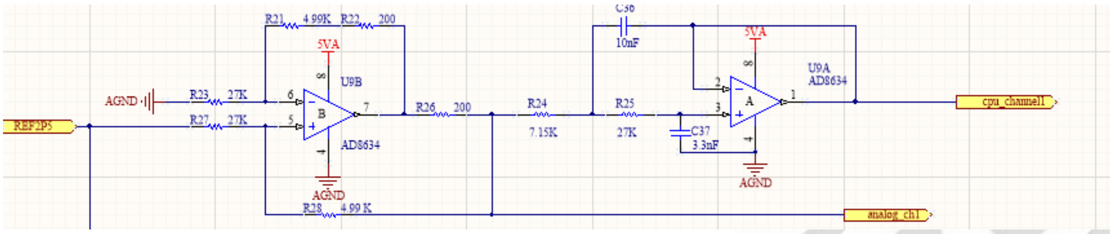
另外，电容取值时尽量小，因为这个 AD8009 是电流型反馈运放，其反相端如果接入较大容性负载可能会导致振荡。计算方法参考以下文档说明：

compensating-current-feedback-amplifiers_cn 在光电流应用中补偿电流反馈放大器.pdf

12. 运放搭建恒流源时电压异常

Q： 运放搭建恒流源（输出 2.4ma）负载为 0~1K 电阻时，在电位器从小变大过程中，发现测量点电压有时候突然变小，然后在阻值不动后，有按比例正常输出。

analog_ch1 去往负载。CPU_channel1 去往 ADC，参考为 REF5025-EP



A： 电流为 2.5V/200 = 12.5mA。当负载电阻增加时，需要 AD8634 输出更高的电压，而 AD8634 能输出的最高电压受限于电源电压。尝试提高+5V 供电到+15V 供电。另外，4 个电阻是不相等的，所以输出不能用 2.5V/200。在电阻发生变化及供电电源发生变化后会自身震荡，在环外加入对地电容后即可解决。

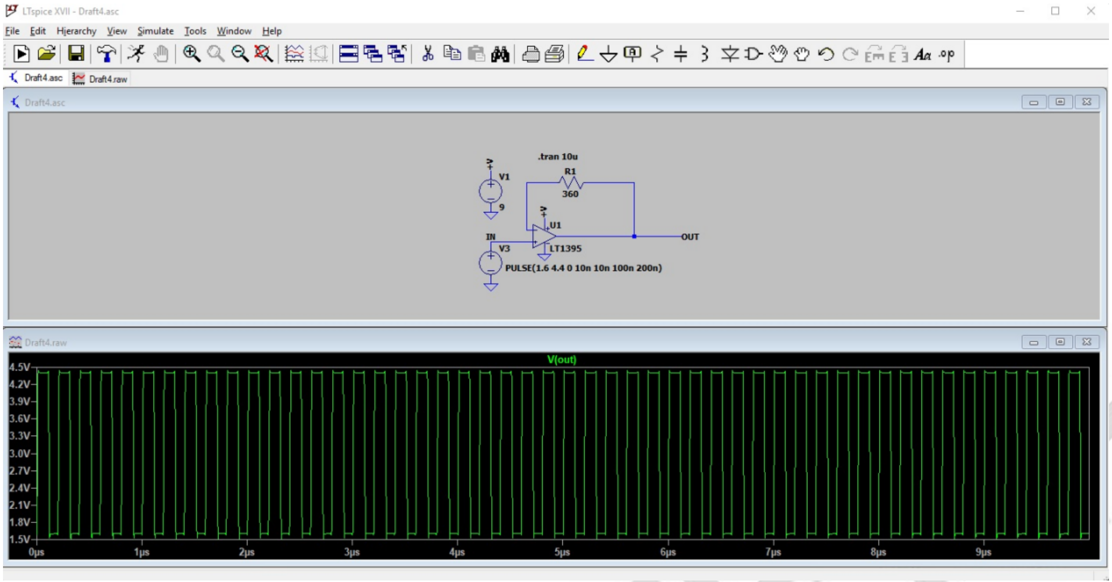
13. 高速运算放大器 LT1395 做电压跟随器时，反馈电阻的选择和电源电压的关系？

Q：

1. LT1395 做电压跟随器时，反馈电阻的选择和电源电压有关系吗？
2. 我用 LT1395 搭建电压跟随器，反馈电阻用的是 360Ω。输入信号由函数发生器提供，5MHz，幅值为 1.6-4.4V 的矩形波。用示波器一个通道查看实际加到跟随器输入端的电压，发现实际是 1.6-4.18V，而跟随器输出电压为 560mv-2.68V，说明跟随器有问题。难道是和反馈电阻选择有关？
3. LT1395 做跟随器时输入阻抗怎么计算，是多大呢？是不是会影响跟随器的性能。

A： 反馈电阻和电源没有关系。建议您用 LTSPICE 仿真看一下。附件我用 9V 供电是没有问题的。

LT1395 Buffer.zip



14. 运算放大器的好坏判别方法

Q： 如果要判断器件的好坏，先应分清楚器件在电路中是做放大器用还是做比较器用。网友的总结给你运放好坏判别的简单方法。

A： 理想运算放大器具有“虚短”和“虚断”的特性，这两个特性对分析线性运用的运放电路十分有用。为了保证线性运用，运放必须在闭环（负反馈）下工作。如果没有负反馈，开环放大下的运放成为一个比较器。如果要判断器件的好坏，先应分清楚器件在电路中是做放大器用还是做比较器用。不论是何类型的放大器，都有一个反馈电阻 Rf，则我们在维修时可从电路上检查这个反馈电阻，用万用表检查输出端和反向输入端之间的阻值，如果大的离谱，如几 MΩ 以上，则我们大概可以肯定器件是做比较器用，如果此阻值较小 0Ω 至几十 kΩ，则再查查有无电阻接在输出端和反向输入端之间，有的话定是做放大器用。

根据放大器虚短的原理，就是说如果这个运算放大器工作正常的话，其同向输入端和反向输入端电压必然相等，即使有差别也是 mv 级的，当然在某些高输入阻抗电路中，万用表的内阻会对电压测试有点影响，但一般也不会超过 0.2V，如果有 0.5V 以上的差别，则放大器必坏无疑！

如果器件是做比较器用，则允许同向输入端和反向输入端不等，同向电压>反向电压，则输出电压接近正的最大值；同向电压<反向电压，则输出电压接近 0V 或负的最大值（视乎双电源或单电源）。如果检测到电压不符合这个规则，则器件必坏无疑！这样不必使用代换法，不必拆下电路板上的芯片就可以判断运算放大器的好坏了。

15. 怎样完整评估一个 OPAMP 的性能？

Q：公司现在选型一个新的运放，那么应该怎样写这个评估报告？大家有没有现成的模板。我现在的应用的处理压力传感器的差分信号，低频的。谢谢。

A：系统对噪声、温漂等的要求是多少？其实可以选择仪表放大器和普通的放大器来搭建。但是取决于您的具体要求：供电范围，精度（噪声和温漂决定）等具体参数要求。

16. TIA OPA 如何选择？

Q：TIA 将一个电流信号转换成电压，并且经常用于测量弱电流，如图 1 所示。

由于电流信号一般很小，在 nA 左右，且频率在 10k 左右，再选择百 k 左右的 Rf 电阻，在这样的应用中，从噪声，带宽等角度，应该如何选择合适的 OPA？

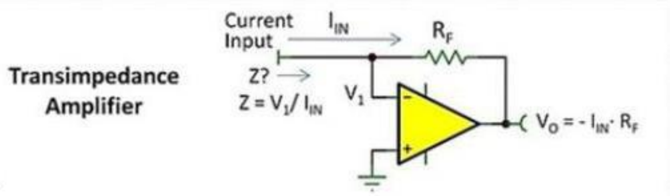


Figure 1.

A：

1) 如果是这种应用就不需要 5 次谐波或 3 次谐波原则（作仪表的职业病）。

2) 3%建立时间建立时间主要是对脉冲波来说的，指的是放大器建立与脉冲峰值相差 3%所需要的时间，例如一个脉冲的脉宽为 3ns，则选择运放至少 3%时间要小于 3ns 才可以（主要还是看脉冲的上升沿时间，并且不适用于采集精确的模拟信号，主要是无法估计过冲，但是如果建立时间远远小于上升沿时间的话这对处理模拟信号提供了一个快速的分析方法）。

3) 电压跟随器是与 I-V 转换电路并联，主要作用是跟随 V1 的电压，跟随器的输出在布线时环路住 Iin 的路径，起的作用是将 PCB 在 Iin 附近的电压分布与 Iin 的电压一致，使通过电路板而损失的电流减小。主要作用是与陶瓷板的作用一致，电路板的损失电流是可以估计出来的，阻抗的参数制版厂会给你。

4) 关于噪声出了关于运放的噪声我感觉也应该关注一下 Rf 的噪声，这个就太多了，AN940 和 AN358 有详细的说明。

17. 运放的轨到轨是什么意思？

Q： 如题，运放的轨到轨是什么意思？

A： **轨就是电源**，简单的说就是指运放的输入和输出都可以到电源。其实输入是可以到达正负电源的，输出只能是无限接近于正负电源。

18. 对三极管的通俗解释

Q： 对三极管的通俗解释。

A： 对三极管放大作用的理解，切记一点：能量不会无缘无故的产生，所以，三极管一定不会产生能量。但三极管厉害的地方在于：它可以通过小电流控制大电流。放大的原理就在于：通过小的交流输入，控制大的静态直流。

假设三极管是个大坝，这个大坝奇怪的地方是，有两个阀门，一个大阀门，一个小阀门。小阀门可以用人力打开，大阀门很重，人力是打不开的，只能通过小阀门的水力打开。

所以，平常的工作流程便是，每当放水的时候，人们就打开小阀门，很小的水流涓涓流出，这涓涓细流冲击大阀门的开关，大阀门随之打开，汹涌的江水滔滔流下。如果不停地改变小阀门开启的大小，那么大阀门也相应地不停改变，假若能严格地按比例改变，那么，完美的控制就完成了。

在这里，Ube 就是小水流，Uce 就是大水流，人就是输入信号。当然，如果把水流比为电流的话，会更确切，因为三极管毕竟是一个电流控制元件。

如果某一天，天气很旱，江水没有了，也就是大的水流那边是空的。管理员这时候打开了小阀门，尽管小阀门还是一如既往地冲击大阀门，并使之开启，但因为没有水流的存在，所以，并没有水流出来。这就是三极管中的截止区。

饱和区是一样的，因为此时江水达到了很大很大的程度，管理员开的阀门大小已经没用了。

如果不开阀门江水就自己冲开了，这就是二极管的击穿。

在模拟电路中，一般阀门是半开的，通过控制其开启大小来决定输出水流的大小。没有信号的时候，水流也会流，所以，不工作的时候，也会有功耗。而在数字电路中，阀门则处于开或是关两个状态。当不工作的时候，阀门是完全关闭的，没有功耗。

19. 制作 4-20mA 电流环路发送器的几个问题

Q：对于下面这个电路有点不是很明白，来自 AD8657datesheet。图中 Rsense 电流时怎么分析的，R3 和 C1 是起什么作用的，ADR125 的 GND 和右下方的地的区别，求指导，谢谢！

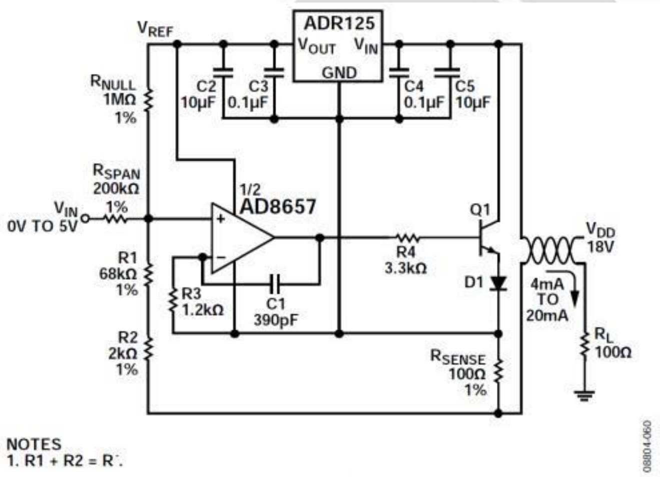


图78. 4 mA至20 mA电流环路发送器

A：这里面会用到运放的虚短和虚断的概念。总的原则是流过运放输入端的电流近似为 0，V+和 V-近似相等。然后根据数据手册中这部分的描述，就可以得到对应的电流的计算公式（手册第 22 页）。而且假设 R1 + R2>>Rsense，那么环路电流就近似等于 Rsense 上的电流。右下方的地是环路地，而 ADR125 的地是左边 4-20mA 产生电路的

参考地。电容 C1 的作用是增加系统的稳定性。

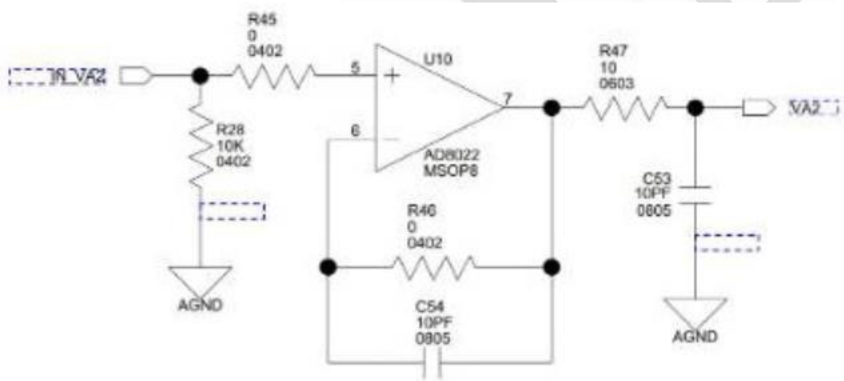
20.搭建 AGC 的时候自激，请问引起自激的原因有哪些？

Q： 输入输出无论是用电阻做的宽带匹配或者用电容电感做的窄带的匹配均出现自激的现象。自激频率在 700 多兆赫兹，而且在其他频率也分布着较小的自激信号。如果将电源电压降低至 2.5V 以下，则自激现象消失，增益趋于正常，约为 41dB，仅仅是输出功率较小，只有-8dBm，50Ohm。请问可能引起自激的问题都有哪些？

A： 通常造成自激的原因有可能是输入/输出匹配电路设计；电源和地的设计；PCB 设计，如输入信号线与输出信号线靠近等原因造成的。

21. AD 转换输入引脚之前的放大器电路作用是什么？

Q： 506 评估板上 AD 转换输入引脚之前都有一个放大器电路，能解释一下具体作用吗？R28 有什么作用？

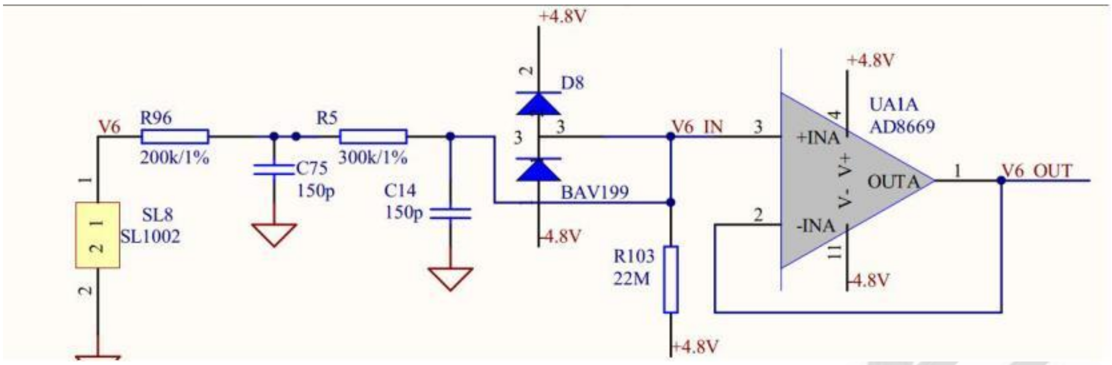


A： 电阻 R28 可以为运放的偏执电流提供一个回路。果没有这个回路，偏置电流会对内部的偏执电容充电，电容没有放电回路造成运放的饱和。如果模拟电压输入本身就是由电阻分压得到，是可以取消 R28 的。但是对地电阻不要太大。否则还是会造成电容放电不充分。

22.脑电图参考设计中滤波电路大电阻的作用是什么？

Q： 这是 ADI 做的 ECG 参考设计，运放前面两个 rc 应该是滤波的，让我困惑的是电阻

R103 这个 22M 的大电阻有什么用？



A：这个电阻用于导联脱落检测。当导联脱落时，同向输入端电压到 4.8V，后级的仪表放大器输出会饱和。可以通过这个方法检查导联脱落。

23. “峰值和零交越检波器”概念如何理解？

Q：刚刚看到 AD8469 的数据手册，上面说主要应用于“峰值和零交越检波器”，我在百度查了一下没有查到相关信息，有人能给解释一下么？越详细越好，希望能将功能，电路图，分析一并告知。

A：您好，比较器与运算放大器类似，有两个输入端（反相和同相）及一个输出端。但比较器是专门设计用于比较两个输入端的电压的。

您可以使用 LTSPICE 对比较器进行仿真，使用相近芯片 AD8611 进行仿真。

放大器选型建议与参考资料

ADI 亚洲技术支持中心的专家们经常遇到就具体应用的放大器选型的问题，我们特意将这些问题汇集，并整理相关的参考资料，供大家学习参考。

1. 求推荐 18 位应用使用 ADA4941 还是性能更好的 ADA4940？

Q：目前做一个 16/18 位 AD 采集，使用全差分 sarADC，如 AD7982/AD7915 推荐输入驱动，有 ADA4941 和 ADA4940。通过对比两者的性能，发现结构上稍有不同，但是性能

上 ADA4940 全面优于 ADA4941，尤其是其带宽特别高，而且共模电压的设置也更方便，请问为什么对于 18 位应用推荐使用 ADA4941 而不是性能更好的 4940。

A：合适的就是最好的，AD7982 和 AD7915 的采样率都是 1MHz，ADA4941 的带宽够用了，ADA4940 可以适用于更高速要求的信号链。如果是新设计，建议考虑 ADA4945-1，性价比极高。

2. 单端转差分放大器 AD8132 谐波测试电路中的 transformer 有没有推荐型号？

Q：AD8132 谐波测试电路中的 transformer 有没有推荐型号？

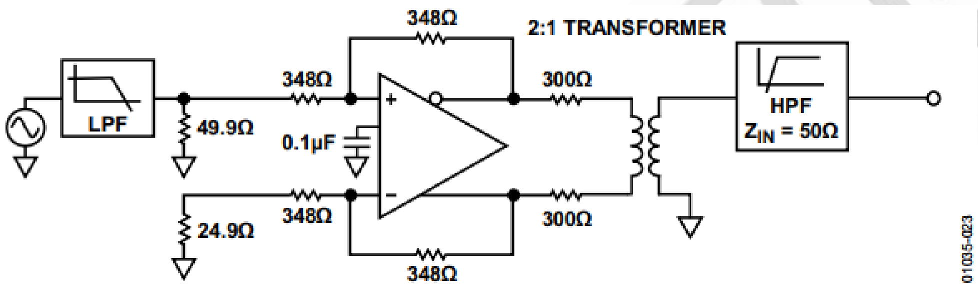


Figure 62. Harmonic Distortion Test Circuit, G = +1, $R_{L,dm}$ = 800 Ω

A：可以考虑伍尔特和 vishay 的 Transformer

3. 求推荐直流 200VDC 的电压电流检测方案

Q：请问，有直流 200VDC 的电压电流检测方案吗？

A：可以考虑高共模的差动放大器，比如 LT1997-3，LT1990，AD8479，LT6376，增益和带宽请参照具体型号来进行选择！

4. 求推荐更好的 0-5v 输入，0-5v 输出设备方案

Q：我想设计一款流量计，是 0~5v 输入控制流量，0~5v 输出反馈流量。

当控制流量为 0 时，输入电压就是 0v，输出电压也是 0v，当控制流量为满量程时，输入电压是 5v，输出电压也是 5v。我目前的设计是 MCU + AD + DA + 基准源 + 运放，但

是我发现 DA 输出电压 0v 时，并不是 0v，是有 10~30mv 本底。导致我设备输出 10~30mv 本底。输出 5v 时，也并不是 5v，有也几十 mv 误差。

mcu：stm32f103cbt6 AD:ad7923 DA：ad5314 基准源：ref192 运放：ad8627。我不太喜欢这种方案，成本有点高，而且还有一点输入输出本底误差等等原因。现在想有没有比较好的 ADI 方案可供参考。

A：无论是 DAC 还是 AMP，如果是单电源供电，器件是无法输出 0V 的，所以当你希望输出 0V 时，你会看到 10~30mV 的输出。AD5314 是单极性输出的 DAC。如果希望能输出 0V，需要选用双极性输出的 DAC，请到下面的链接按照通道数，分辨率等指标进行选择。

https://www.analog.com/en/products/digital-to-analog-converters/standard-dac/precision-dac/bipolar-da-converters.html

5. 求推荐一款低噪声放大器芯片

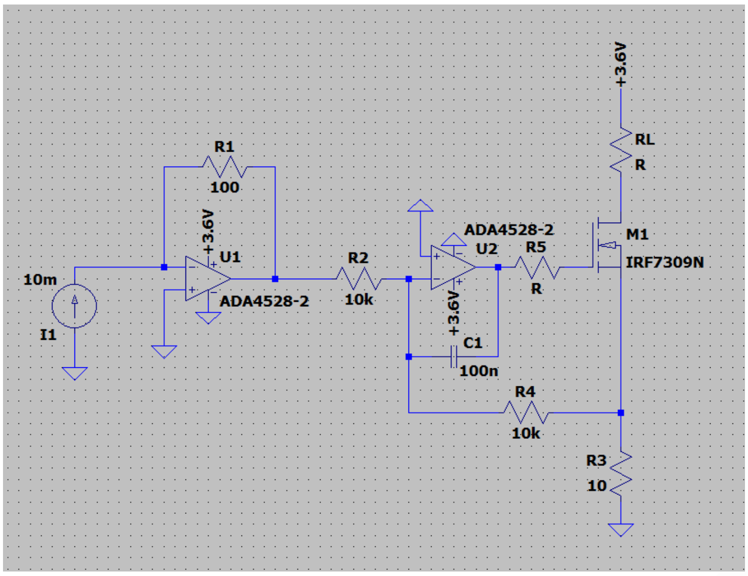
Q：请您推荐一款噪声系数低的低噪声放大器芯片，用于在-140dbm 背景噪声中，对 300KHz、带宽 40KHz，-130dbm 的信号第一级放大。

A：LT1028，LT6018 是 ADI 的最低噪声运放。建议搭建带同滤波器，并用 LTSPICE 进行仿真。

6. 关于超低功耗的电流放大器的问题

Q：求推荐一款输入几毫安级，输出百毫安级，100~150 倍，3.6V 左右供电的电流放大器。

A：此电路可考虑用两级电路来实现，第一级用电流换电压，可以考虑用 TIA 电路，也可以考虑用电流采样运放，第二级用压控恒流源电路。



7. 关于 PGA 的选择问题

Q： 现在需要对一个模拟信号进行放大，然而用普通的运算放大器的时候受制于电阻的精度，这样会造成很大的误差。请问有没有什么更好的解决办法？如果选择 PGA 的话，PGA 好像没有小于 1 的放大倍数。我期望的放大倍数为 0.5、1、2……15。信号工作频率 7200HZ。

A： 可以考虑 ADA4254，增益从 1/16 到 128。

8. ADI 有没有测量电池电量的传感器？

Q： 最近需要一个测量电池电量的传感器，电池是 24V 汽车电池，现在要通过外部传感器监测电池的实时容量，供给 ECU 采集。输出信号最好是：模拟电压、电阻、电流或者频率信号。

A： 我们有 AD7280A，可以用于监控锂电池的电压以及温度。单块芯片可以同时监控六个锂电池，菊花链支持最大 8 颗芯片的堆叠。您可以从 ADI 官网下载数据手册看是否能满足您的要求。

9. 要对 250MHz 的 300 多 mV 的电压信号放大至少十倍，选择哪款芯片合适？

Q：我现在做一个项目，有一个 250MHz 的 300 多 mV 的电压信号，要求放大到 4V 左右，也就是至少十倍，选择那一款运算放大器合适？

A：根据您的要求，可以计算一下满足要求的运放的 slewrate 的值：2V*Pi*250MHz，那么 slewrate 需满足 3.14kv/us.根据这个条件您可以考虑用两级放大：AD8003。AD8003 内部集成了 3 个运放，所以您可以直接是 2 个就可以了。

10. 求问 10M 信号 50V 正弦放大，应该选什么芯片？

Q：输入信号是 10M，0-5V 的正弦信号，要放大成 10M，0-50V 的正弦信号，请问一下，采用什么芯片可以实现。谢谢！

A：这里有两个要去，一个是增益带宽积，至少 100M（10M*10 倍增益），另一个是输出需要 50V。目前单芯片能满足需求的没有，您需要选一个高速的运放，外加三极管或 MOS 管来扩压。

11. 仪表放大器 AD8221 和 AD8429

Q：在 AN-683 笔记（使用交流激励进行应变计测量 https://www.analog.com/media/cn/technical-documentation/application-notes/AN-683_cn.pdf）中，将 AD8221 更换为 AD8429 是否会更好？工作温度为-40~125。

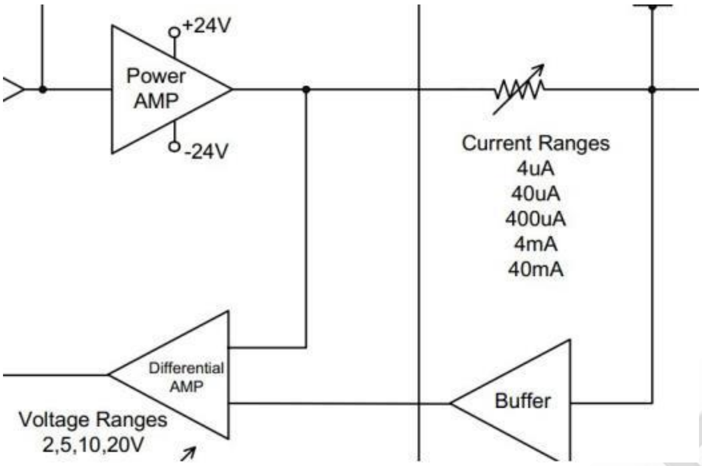
A：这两个产品在噪声，温漂，偏置电流等等参数都是有差异的。主要看您的应用中更注重哪一个参数指标。如果是对工作温度要求的话，那么 AD8429 的温度范围会更宽一些。另，AD8429 噪声更低，价钱也要贵一些。

12. 关于高供电电压差分放大器选型的问题

Q：关于高供电电压差分放大器选型的问题，之前系统使用的是 AD620，供电电压为正负 15V，满足设计需求，由于功能升级，目前需要±24V 双电源供电的差分放大器，在

选型上一直没有找到相关型号，希望大神给予指点啊！

A： 首先 AD620 是仪表放大器，此类放大器的最高工作电压为 36V。对于差分运放，一般指的是器件的输出是差分信号。



13. 寻找一款输入共模电压可以大于供电电压的仪表放大器

Q： 公司产品需要用到电流检测，使用的是 AD620，正负 15V 供电，原设计的 IN+和 IN-的最大共模输入电压为 12V，所以 AD620 可以正常工作。现在要做一款新的基板，也要用到仪表放大器，但其设计的 IN+和 IN-上的最大共模输入电压要为 20V，且由于硬件的原因，该放大器的供电还是只能是正负 15V 供电。AD620 显然是不能使用了，请问各位专家能否推荐一款放大器能够满足我的要求。

A： 可以看看 AD8218 和 AD8227，用于电流检测，在 5V 供电时，输入端的共模电压可以到 80V。AD8227 的共模电压在正常放大时，是不可以超过供电范围的。但是可以承受一定的过压：

In addition to its wide operating range, the AD8227 can handle voltages beyond the rails. For example, with a±5V supply, the part is guaranteed to with stand ±35V at the input with no damage.

14. DA 板卡输出驱动长电缆放大器如何选型？

Q： 我计划设计一个电平比较电路，输入电平范围在±1.5V，希望精度在±5mV 甚至更

高。计划使用比较器。但这里提供的比较器输入阻抗都在 MΩ 级甚至更低，而我的信号源阻抗是 10^12Ω 级。如果用电压跟随器转换阻抗，输出阻抗又太低。此外，如果选用比较器；我的输出准备驱动晶闸管，应该用哪种输出比较合适。

A： 可以考虑 AD817，输出电流可以达到 50mA，对驱动的容性负载没有要求，即可以驱动无限大的容性负载。AD817 数据手册中得到 DIP8 封装的热阻是 100C/W，如果芯片功耗是 210mW，那么芯片结温上升：100x0.21＝21C。

15. 高阻抗电平信号源精密比较用比较器好还是用仪器运放好？

Q： 我计划设计一个电平比较电路，输入电平范围在±1.5V，希望精度在±5mV 甚至更高。计划使用比较器。但这里提供的比较器输入阻抗都在 MΩ 级甚至更低，而我的信号源阻抗是 10^12Ω 级。如果用电压跟随器转换阻抗，输出阻抗又太低。此外，如果选用比较器；我的输出准备驱动晶闸管，应该用哪种输出比较合适？

A： 如果考虑到比较器的输入阻抗较低无法满足需要，的确需要接缓冲级降低输出阻抗，进而降低误差。比较器的输出一般为 CMOS 信号或者 TTL 信号，器驱动能力不会太大，几毫安量级。如果输出的吸电流过大，输出电压也会降低很大。看一下晶闸管的驱动电流，如果无法满足就需要驱动级。

16. 低频小信号运放选型

Q： 传感器为热释电红外传感器，待提取信号频率 0.1~20Hz，幅度 5uV，需要用到两级放大，最好单片能有两个以上通道，请问运放该如何选型？

A： 信号是低频信号，而且幅度这么低。需要 zero-drift 的放大器，并且噪声要低。如果是 5V 供电，可以考虑 ADA4528-2，如果是>30V 供电，可以考虑 ADA4522-2。

17. 微信号放大，放大器如何选型啊？

Q： 你好。我们最近在做一个项目，是关于光电传感器的，我们用的 PSD 位置灵敏传感器，可是用的处理电路很糟糕，望@ADI 给我们推荐一个合适的放大器，对微小的电

流信号（uA 级）经过流压变换放大的放大器，谢谢。

A：产品有很多，取决于您的信号带宽。

ADA4530，ADA4817，ADA4891，AD8045，AD8011，ADA4350，ADA4932，AD8099，ADA4930，ADA4927，AD8009，ADA4939，AD829，ADA4940，AD8065，AD8007，AD8001，ADA4851。

补充几点：

1) 首先对于微弱信号处理，得选择低偏置电流，输入阻抗大的 OP。ADI 最好的用于光电转换上的芯片是 ADA4530 (Ib = 20fA)，根据您的需求，对于 uA 级的信号，理论上 OP 的偏置电流至少要 nA 级别，最好是 pA 级别。这种放大器 ADI 有很多种，FET 输入级基本都在这个级别：高压的比如 ADA4622，低压的像是 LTC6240。

2) 您得注意使用过程中的降噪处理，比如反馈电阻上加反馈电容（很有必要），可降低电路的高频噪声增益。第二种方法是用复合放大器进行降噪处理。

3) PCB 方面，如果精度要求很高，需要采用 guard ring，电源做好去耦。

4) 电路结构尽量不要采用反偏结构，采用零偏结构有利用提高噪声性能。反馈电阻的选择尽量越大越好，这样可以降低电流噪声，提高信噪比。