

Application Brief

使用全差分放大器的航天级、 单端转差分 ADC 驱动器电路



设计目标

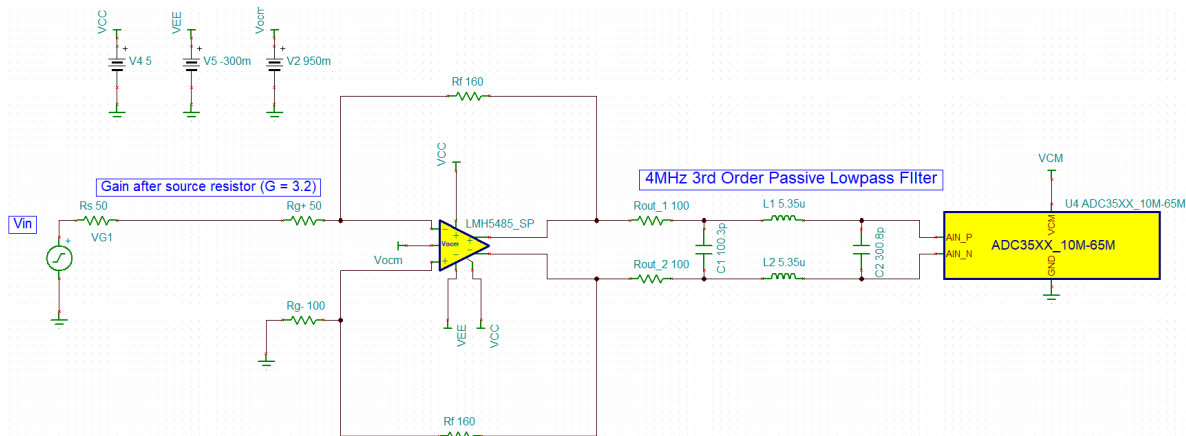
参数	设计要求
FDA 输入类型	单端
交流电源输入电压	交流耦合 2MHz、2Vpp 正弦波
元件等级	航天级
FDA 输出、ADC 输入	3.2 Vpp
FDA 输出共模	0.95V
滤波器	具有 4MHz 截止频率的三阶无源巴特沃斯低通滤波器
端接电阻器	无端接电阻器
LMH5485-SEP 抗辐射能力	抗辐射能力高达 30krad (Si) 总电离剂量 (TID)

设计说明

这款航天级电路设计展示了一个单端转差分 (SE-to-Diff) ADC 驱动器，该驱动器使用 LMH5485-SEP 和一个共模电压为 0.95V、输入范围为 3.2Vpp 的模数转换器 (ADC)。LMH5485-SEP 是一款航天级、低功耗、高速全差分放大器，主要用于驱动高性能 ADC。高性能 ADC 是低噪声、超低功耗、高速、双通道器件，用于多种航天应用，其中包括：成像、光谱分析、雷达、控制环路、仪表等。由于 ADC 接受差分信号，因此在设计电路时，相较于使用两个运算放大器，全差分放大器 (FDA) 是一个更好的选择。除了提供平衡的输出信号外，FDA 还具有其他出色优势。其中一些优势包括：

- 增强对外部噪声的抵抗能力
- 增加给定电压轨的输出电压摆幅
- 减少偶次谐波
- 减少 PCB 上的元件
- 为低压系统而设计
- 能够输出共模电压
- 可采用单电源供电

下图显示了完整的电路设计。



完整的单端转差分 ADC 驱动器电路

上图中所示的电路从具有 50Ω 源电阻的单端交流电源开始。此电源为 LMH5485 全运算放大器供电。根据反馈电阻器的值，放大器的增益为 3.2。然后，FDA 的输出进入截止频率为 4MHz 的三阶无源巴特沃斯低通滤波器，接着进入 ADC 的输入端。

设计步骤

1. 需要两个电源来为 FDA、VCC 和 VEE 供电。VCC 设置为 5V，而 VEE 设置为 -300mV。此 FDA 需要在输入轨上有 0.2V 至 0.3V 的余量，因此 VEE 设置为 -300mV。
2. 确定放大器的源电阻、增益和输入信号。对于此设计，期望的源电阻为 50Ω 、增益为 3.2、输入信号为 2Vpp。仿真结果表明，当没有端接电阻器时， 50Ω 源电阻将输入电压一分为二；因此，电源电压为 2Vpp。实际上，在连接 50Ω 源电阻之后电压是 1Vpp。为了实现阻抗匹配电路，Rg1 可以与源电阻器匹配，因此 Rg1 为 50Ω 。
3. 使用接下来的三个公式计算 Rg2：

$$Rg2 = (Rt // Rs) + Rg1$$

$$Rg2 = \left(\left(\frac{1}{Rt} + \frac{1}{Rs} \right)^{-1} \right) + Rg1$$

由于未使用端接电阻器 (Rt)，将 Rt 视为无穷大；因此， $1/Rt$ 可以抵消掉。

$$Rg2 = \left(\frac{1}{Rs} \right)^{-1} + Rg1 = \left(\frac{1}{50\Omega} \right)^{-1} + 50\Omega = 100\Omega$$

如公式所示，Rg2 始终是 Rg1 电阻器值的两倍。

4. 根据计算出的值，可以确定反馈电阻器 (Rf) 的值。

$$Rg1 = \frac{2 \frac{Rf}{Av} - Rs}{1 + \frac{Rs}{Rt}}$$

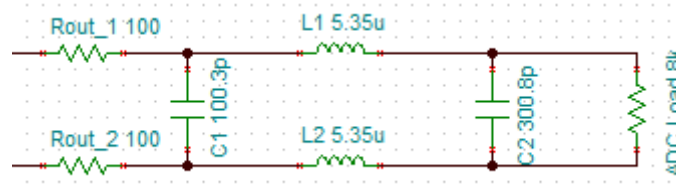
如设计步骤 4 中所示，由于未使用端接电阻器 (Rt)，因此这个分数的分母等于 1。可以重新排列这个方程式来求解 Rf。更新后的公式如下：

$$Rf = \frac{G \times (Rs + Rg1)}{2} = \frac{3.2 \times (50 + 50)}{2} = 160\Omega$$

5. 设计完 FDA 级之后，创建三阶无源巴特沃斯低通滤波器 (LPF)。截止频率为 2MHz；不过，在 4MHz 下计算 LPF，确保 2MHz 信号保持高于 -3dB。以下公式用于计算 LPF 的元件值：

$$fc = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C1 \times C2}}$$

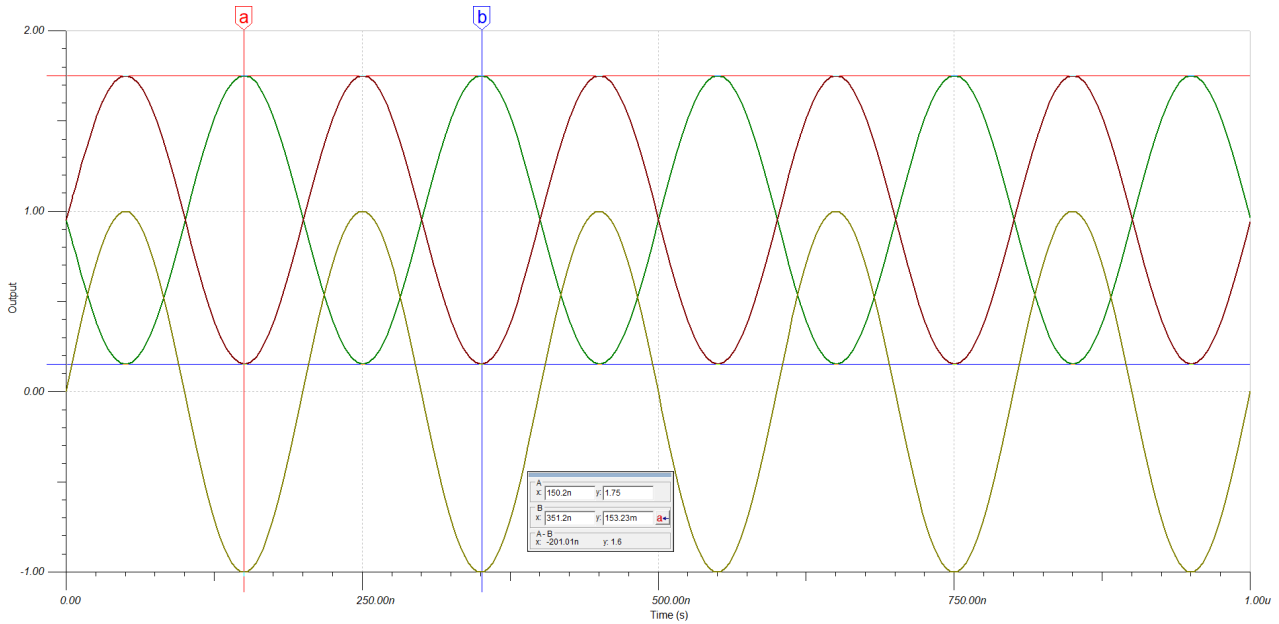
将所有元件放在一起后，4MHz 三阶无源巴特沃斯低通滤波器展示了完整的滤波器。由于此设计是差分设计，因此两个输出轨上都可以有电阻器和电感器。因此，每个输出轨的电阻器和电感器的值会除以二。滤波器的输入电阻器为 100Ω 。名为“ADC Load”的输出电阻器是虚拟负载，表示不属于滤波器的内部 ADC 负载。



4MHz 三阶无源巴特沃斯低通滤波器

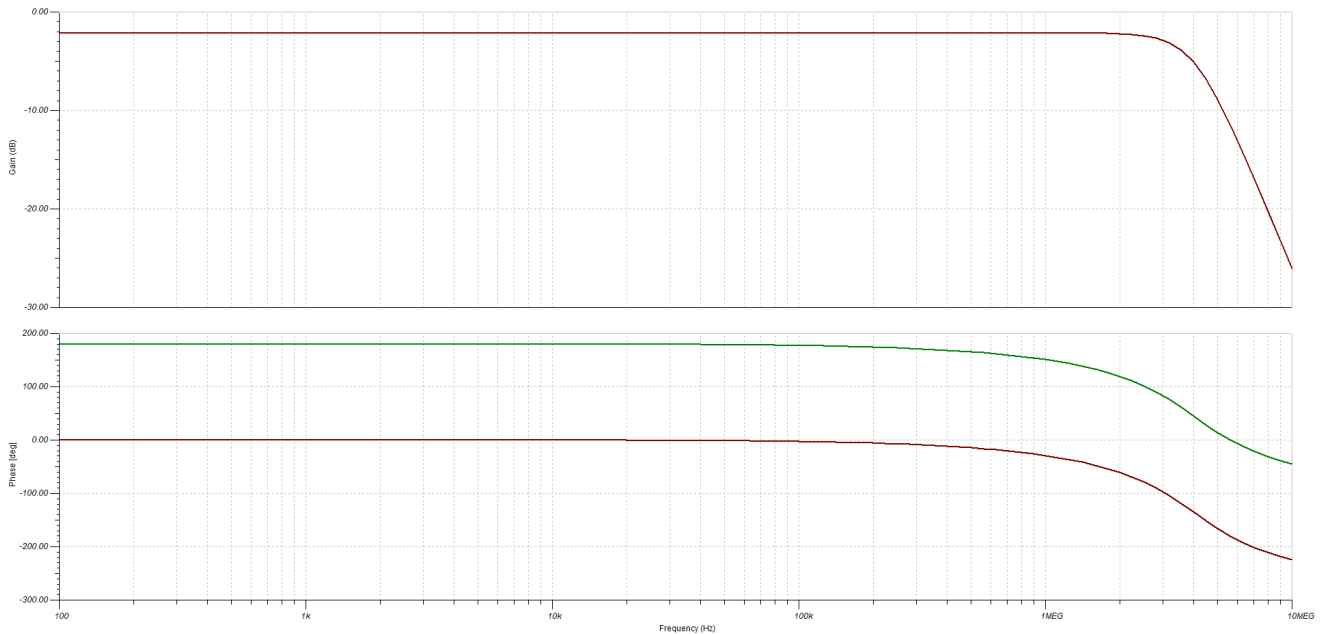
V_{IN} 和 V_{OUT} 波形

单端 V_{IN} 与差分 V_{OUT} 波形展示了 FDA 的输入和输出。黄色是输入源，红色是正输出，绿色是负输出。输入为 2V_{pp} (在使用源极电阻器之后为 1V_{pp})，正负输出摆幅为 1.6V_{pp}。将两个正负差分信号结合在一起，使输出摆幅为 3.2V_{pp}。请注意，输出的共模电压为 0.95V。



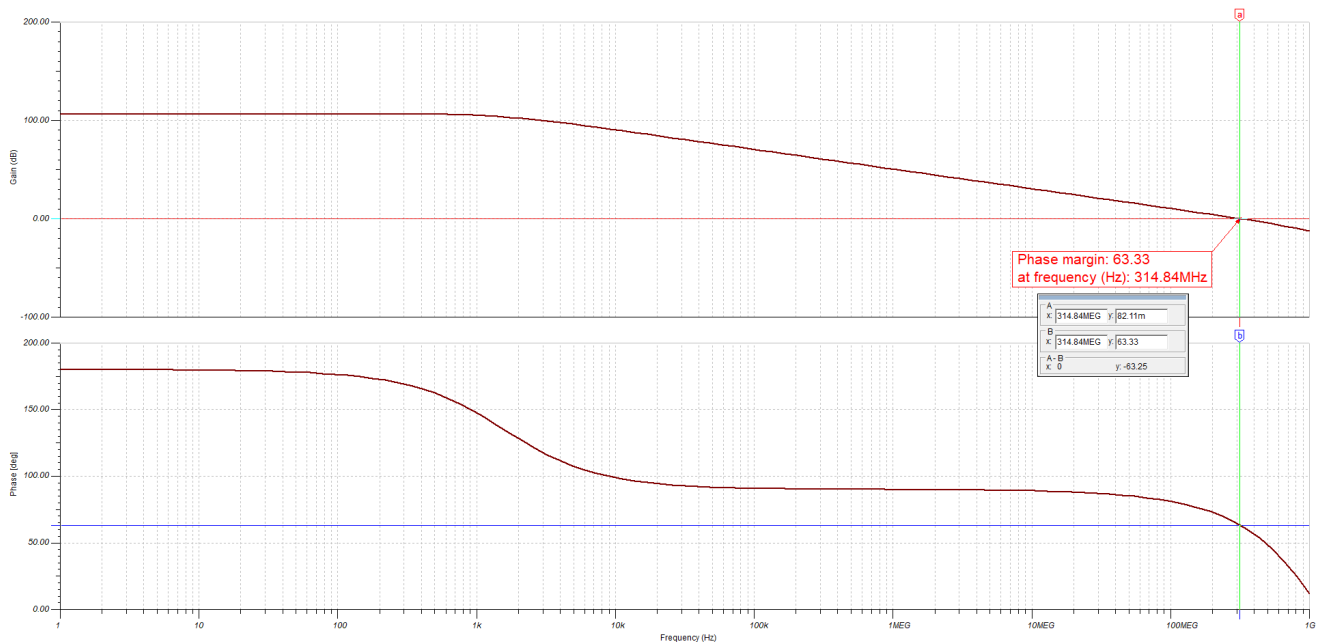
单端 V_{IN} 与差分 V_{OUT} 波形

增益和相位波特图展示了二阶无源低通滤波器的增益和相位图。如下图所示，截止频率为 4MHz。这样做是为了使 2MHz 的实际截止频率保持在 -3dB 增益以上。



增益和相位波特图

放大器的相位裕度是放大器增益大于 0dB 时的相移量。开环增益降至低于 0dB 或相位裕度降至低于 60 度时，放大器将被视为不稳定。在本例中，开环增益在 314.84MHz 后降至 0 以下，相位裕度为 63.33 度，如 [稳定性增益和相位波特图](#) 所示。由于放大器仅在 2MHz 的频率下工作，这对于该应用来说已经足够。



稳定性增益和相位波特图

实施 FDA 是为 ADC 供电的高效方法。元件数量减少以及对外部噪声和偶次谐波的抗阻增加，这是 FDA 带来的一些出色优势。FDA 乍一看可能会令人生畏，但在深入了解设计步骤后，您会发现这个过程非常容易掌握。在此设计中，FDA 在 0.95V 的共模电压下输出期望的 3.2Vpp 输出。FDA 之后的低通滤波器具有 4MHz 的截止频率，并且因为它是三阶滤波器，截止频率非常尖锐，从而可以去除通过频率的任何不需要的谐波。

附加资源

- 德州仪器 (TI), [LMH5485-SEP 采用航天级增强型塑料的抗辐射、850MHz 全差分放大器](#) 产品页面
- 德州仪器 (TI), [LMH5485-SEP 抗辐射、负轨输入、轨到轨输出、850MHz 全差分精密放大器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [全差分放大器的输入阻抗匹配模拟设计期刊](#)
- 德州仪器 (TI), [高速数据采集系统中的全差分放大器设计模拟设计期刊](#)
- 德州仪器 (TI), [全差分放大器应用手册](#)

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司