

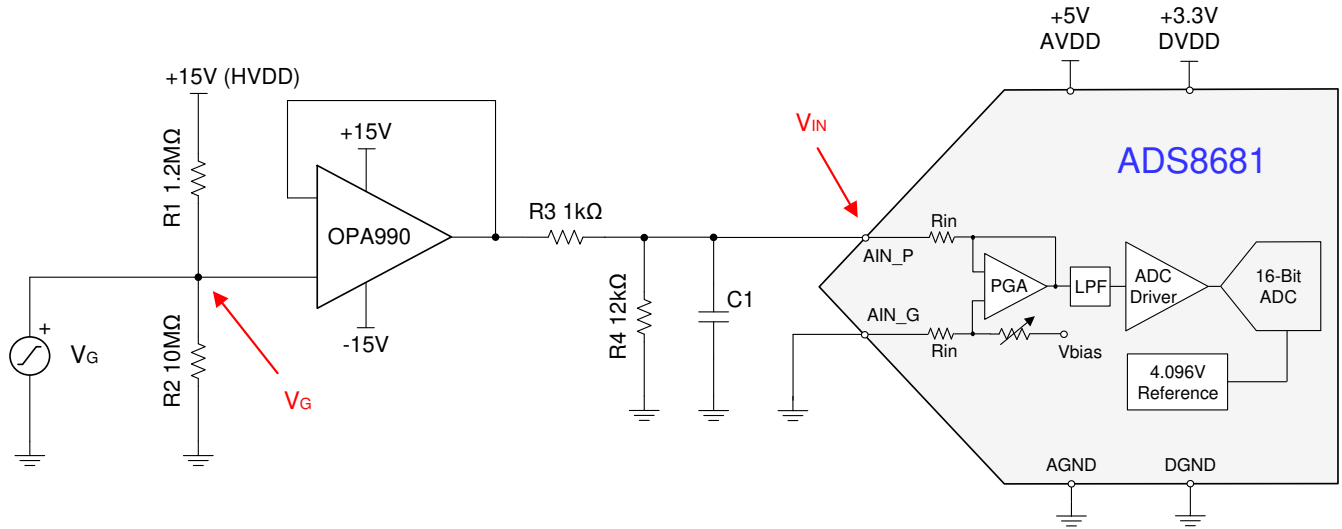


正常双极性输入信号范围		ADS8681 的双极性输入范围		电源和基准电压		
V_{G_Min}	V_{G_Max}	V_{ADC_Min}	V_{ADC_Max}	AVDD	DVDD	V_{REF}
-12.88V	+12.88V	-12.88V	+12.88V	+5V	+3.3V	4.096V

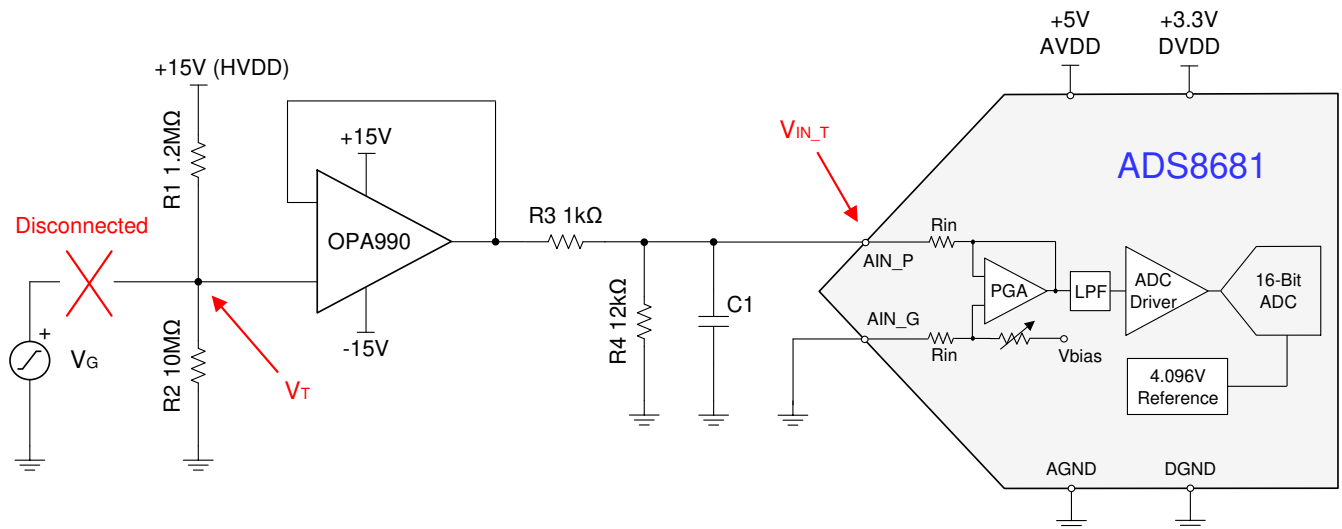
设计说明

此电路给出了一种用于检测 ADS8681 逐次逼近寄存器 (SAR) 模数转换器 (ADC) 输入是否浮动的解决方案。ADS8681 器件具有大量的信号链集成，包含高阻性输入阻抗、可编程增益放大器 (PGA) 和 ADC 输入驱动器。借助这些特性，无需使用高带宽放大器驱动 ADC 输入。因此，可以在检测浮动输入的解决方案中使用同相单位增益配置的低带宽、低成本放大器。该解决方案对包括信噪比 (SNR) 和总谐波失真 (THD) 在内的系统性能指标影响极小，该电路在下列终端设备很有用：[模拟输入模块](#)、[伺服驱动器功能安全模块](#)、[电机驱动器](#)以及[工厂自动化和控制](#)。

Normal Operation:



Input Floating:



规格

规格	目标值	计算值与仿真值
噪声	< 10 μ V	计算值 : 4.3 μ V 仿真值 : 4.38 μ V
相位裕度	> 45°	64°

设计注意事项

1. 电阻器 (R1 和 R2) 对电源 (HVDD) 进行分压以产生偏置电压 V_T ，该电压超出了用于检测 V_G 输入是否浮动的预期输入电压范围。
2. 放大器 (OPA990) 配置为同相单位增益缓冲器，用于为信号源 (V_G) 提供高输入阻抗。
3. 电阻器 (R3 和 R4) 用于缩小输入信号来提供裕度，以便检测输入是否浮动。
4. 为 R3 和 R4 选择精度为 0.1% 或更高的电阻器，以最小化增益误差。
5. 为前端 RC 滤波器的 C1 选择 COG 型电容器，以最小化失真。

元件选择

- 正常输入信号范围 (V_G) 为 $\pm 12.88V$ 。 V_G 通过电阻分压器 (R_3 和 R_4) 缩小, 从而为浮动输入检测电压提供高于正常输入电压范围的裕度。下表列出了此设计中 [ADS8681](#) 的输入范围、输入电压范围 (V_G), 以及 ADC 输入上 1V 裕度的预期正常电压 (V_{IN})。

	输入信号电压 (V_G)	ADS8681 输入范围 (V_{ADC})	ADC 输入上的预期正常电压 (V_{IN})	ADC 输入上的浮动预期电压 (V_{IN_T})
最大值	+12.88V	+12.88V	+11.88V	+12.38V
最小值	-12.88V	-12.88V	-11.88V	+12.38V

选择 R_3 为 $1k\Omega$ 以获得小增益和偏移误差。因此, R_4 由以下公式决定:

$$V_{IN} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \times V_G$$

$$R_4 = \frac{V_{IN}}{V_G + V_{IN}} \times R_3 = \frac{11.88V}{12.88V - 11.88V} \times 1k\Omega = 11.88k\Omega$$

最后为 R_4 选择了容差为 0.1% 的 $12k\Omega$ 电阻器。电阻器值可以根据系统所需的噪声和裕度来进行调整。

- 此步骤的目的是选择检测到浮动时的 ADC 输入电压 (称为 V_{IN_T})。选择此电压为比最高正常工作输入电压 (+11.88V) 高出 0.5V 的裕量, 以便防止对浮动条件的错误检测。因此, 可以使用公式来计算 V_{IN_T} :

$$V_{IN_T} = V_{IN} + 0.5V = 11.88V + 0.5V = 12.38V$$

- 此步骤的目的是在放大器 ([OPA990](#)) 输入端上选择一个分压器, 该分压器将设置在步骤 2 中选择的 ADC 的输入端浮动电压。 V_{IN_T} 是浮动输入条件下分压下降输入阈值电压 (V_T)。使用以下公式来计算实现目标 V_{IN_T} 所需的 V_T 电压:

$$V_{IN_T} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \times V_T$$

$$V_T = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \times V_{IN_T} = \frac{1k\Omega + 12k\Omega}{12k\Omega} \times 12.38V = 13.4V$$

选择 R_1 和 R_2 以在输入浮动条件下产生 V_T 电压。为了实现更高的输入阻抗, R_2 选择为 $10M\Omega$ 。 R_1 由以下公式决定:

$$V_T = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times HVDD$$

$$R_1 = \frac{HVDD - V_T}{V_T} \times R_2 = \frac{15V - 13.4V}{13.4V} \times 10M\Omega = 1.194M\Omega$$

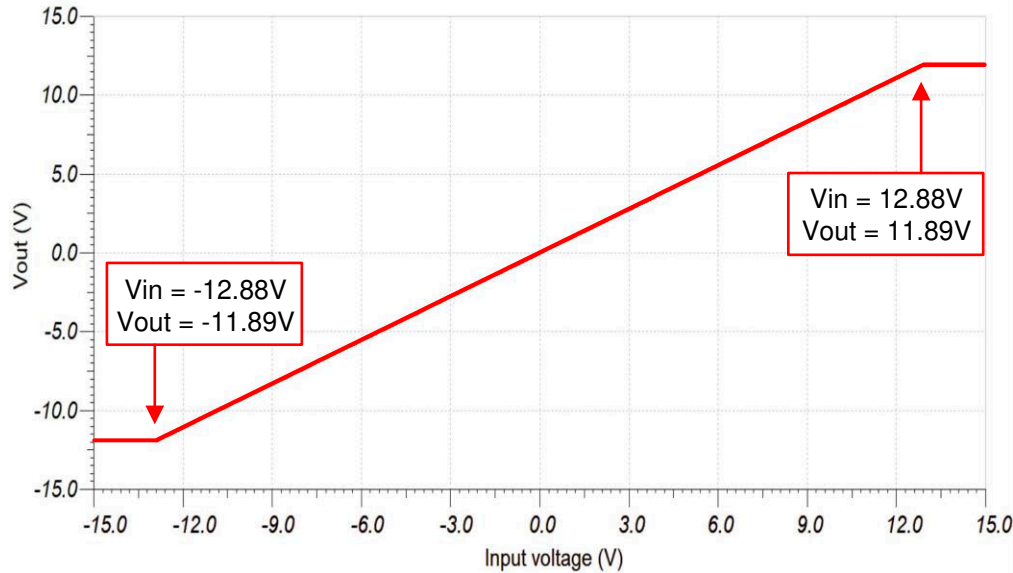
R_1 选择为 $1.2M\Omega$, 这是标准电阻器值。请注意, 这些电阻器的容差只会影响浮动电压精度。

- 与 $R_3||R_4$ 并联的电容 C_1 用于滤除前端电路的噪声。基于输入电阻器和电容器的截止频率公式如下所示。确切值可能不是很重要, 因此我们在此设计中使用 $10nF$ 的标准值。

$$f_c = \frac{R_3 + R_4}{2\pi \times R_3 \times R_4 \times C_1} = \frac{1k\Omega + 12k\Omega}{2\pi \times 1k\Omega \times 12k\Omega \times 10nF} = 17.2kHz$$

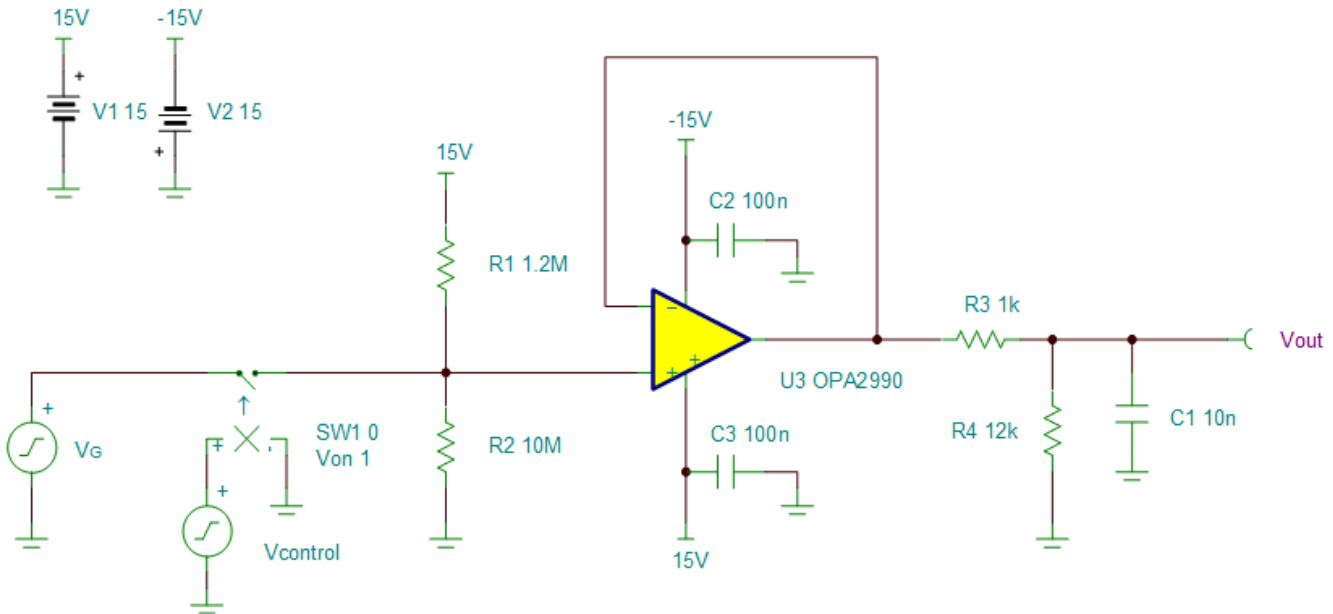
直流传输特性

下图显示了前端电路对单端 -12.88V 至 +12.88V 输入的线性输出响应。有关该主题的详细理论信息，请查阅[使用仪表放大器确定 SAR ADC 的线性范围](#)。该 ADC 的满量程范围 (FSR) 在运算放大器 (OPA990) 的线性范围内。

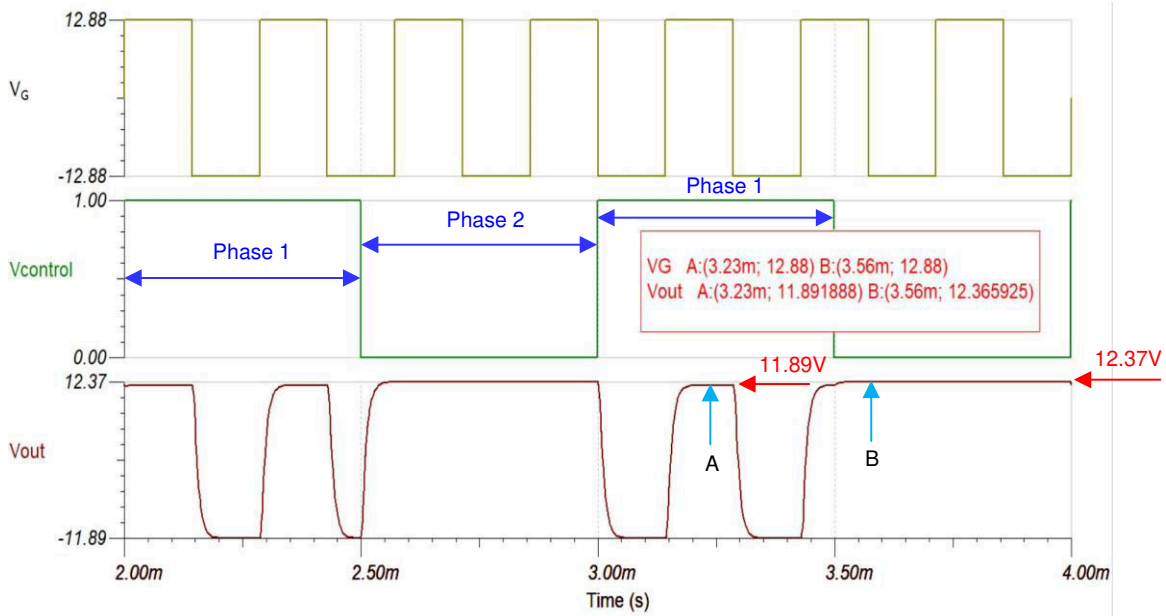


浮动输入的仿真验证

TINA-TI 中使用了以下电路来仿真和验证当放大器的输入浮动时，输出电压是否像预期那样正确。这里特意添加了压控开关 (SW1) 来模拟连接和断开状态。该开关 (SW1) 由周期性电压信号 (Vcontrol) 来控制，用于断开和闭合。



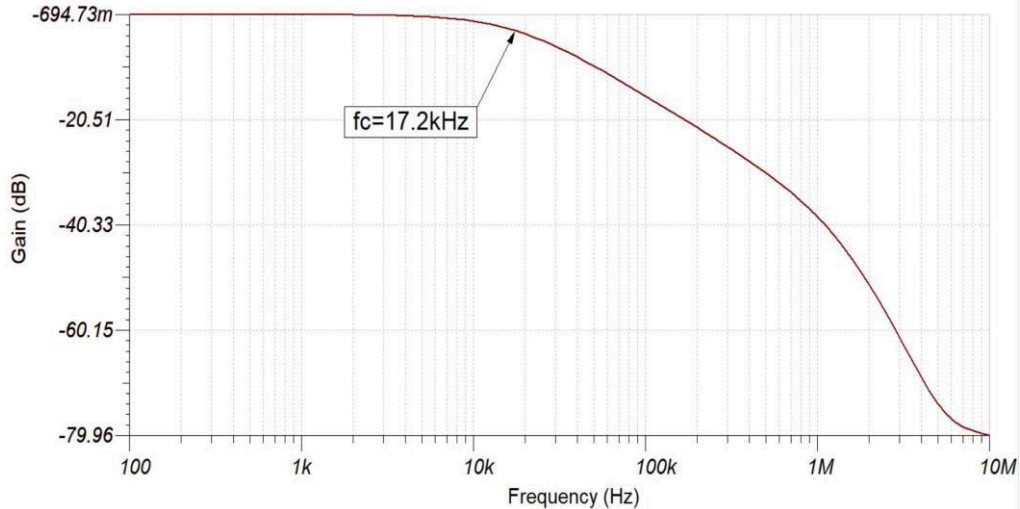
仿真结果如下图所示。该连续输入信号 (V_G) 在 $\pm 12.88V$ 的正常电压范围内扫频。控制信号 (Vcontrol) 强制开关 (SW1) 导通，以实现阶段 1 中的连接状态。仿真显示了阶段 1 中的 $\pm 11.89V$ 输出信号 (Vout)。控制信号 (Vcontrol) 会强制开关 (SW1) 断开，以实现阶段 2 中的断开状态。仿真显示了 2 阶段 2 的 12.37V 输出信号 (Vout)。请注意，仿真值与计算值 (12.38V) 匹配良好。



交流传输特性

此电路的带宽受 RC 滤波器 (R3||R4 和 C1) 的限制。手工计算值和仿真结果相吻合 (手工计算 $f_c = 17.2\text{kHz}$, 仿真结果 $f_c = 17.2\text{kHz}$)。有关该主题的更多详细信息, 请观看[运算放大器带宽](#)视频系列。请注意, ADS8681 内置的二阶低通滤波器具有 15kHz 带宽。此电路的带宽主要由 ADC 的低通滤波器决定。

$$f_c = \frac{R_3 + R_4}{2\pi \times R_3 \times R_4 \times C_1} = \frac{1\text{k}\Omega + 12\text{k}\Omega}{2\pi \times 1\text{k}\Omega \times 12\text{k}\Omega \times 10\text{nF}} = 17.2\text{kHz}$$



噪声仿真

本部分介绍了前端电路的简化噪声计算方法，并提供了与 TI-TINA 中的仿真结果进行比较的估算值。在此电路示例中，大电阻 (R_1 和 R_2) 的电阻器噪声在系统整体噪声中占很大一部分。然而，信号源 (V_G) 的输出阻抗 (R_S) 通常很低，因此 R_S 、 R_1 和 R_2 组合产生的噪声很小。 $R_S = 100\Omega$ 时的噪声计算参见以下公式。

电阻器 (R_S 、 R_1 和 R_2) 产生的热噪声：

$$R_{eq1} = R_S \parallel R_1 \parallel R_2 = \frac{R_S \times R_1 \times R_2}{(R_S \times R_1) + (R_S \times R_2) + (R_1 \times R_2)} = \frac{100\Omega \times 1.2M\Omega \times 10M\Omega}{(100\Omega \times 1.2M\Omega) + (100\Omega \times 10M\Omega) + (1.2M\Omega \times 10M\Omega)} = 99.99\Omega$$

$$e_{n_Req1} = \sqrt{4 \times k_n \times T_n \times R_{eq1}} = \sqrt{4 \times (1.38 \times 10^{-23}) \times 298 \times 99.99\Omega} = 1.282nV / \sqrt{Hz}$$

$$E_{n_Req1_RTI} = e_{n_Req1} \times \sqrt{K_n \times f_C} = (1.282nV / \sqrt{Hz}) \times \sqrt{1.57 \times 17.2kHz} = 0.21\mu V_{rms}$$

$$E_{n_Req1_RTO} = E_{n_Req1_RTI} \times \frac{R_4}{R_3 + R_4} = (0.21\mu V_{rms}) \times \frac{12k\Omega}{1k\Omega + 12k\Omega} = 0.194\mu V_{rms}$$

电阻器 (R_3 和 R_4) 产生的热噪声：

$$R_{eq2} = R_3 \parallel R_4 = \frac{R_3 \times R_4}{R_3 + R_4} = \frac{1k\Omega \times 12k\Omega}{1k\Omega + 12k\Omega} = 0.923k\Omega$$

$$e_{n_Req2} = \sqrt{4 \times k_n \times T_n \times R_{eq2}} = \sqrt{4 \times (1.38 \times 10^{-23}) \times 298 \times 0.923k\Omega} = 3.89nV / \sqrt{Hz}$$

$$E_{n_Req2} = e_{n_Req2} \times \sqrt{K_n \times f_C} = (3.89nV / \sqrt{Hz}) \times \sqrt{1.57 \times 17.2kHz} = 0.64\mu V_{rms}$$

OPA990 放大器产生的噪声：

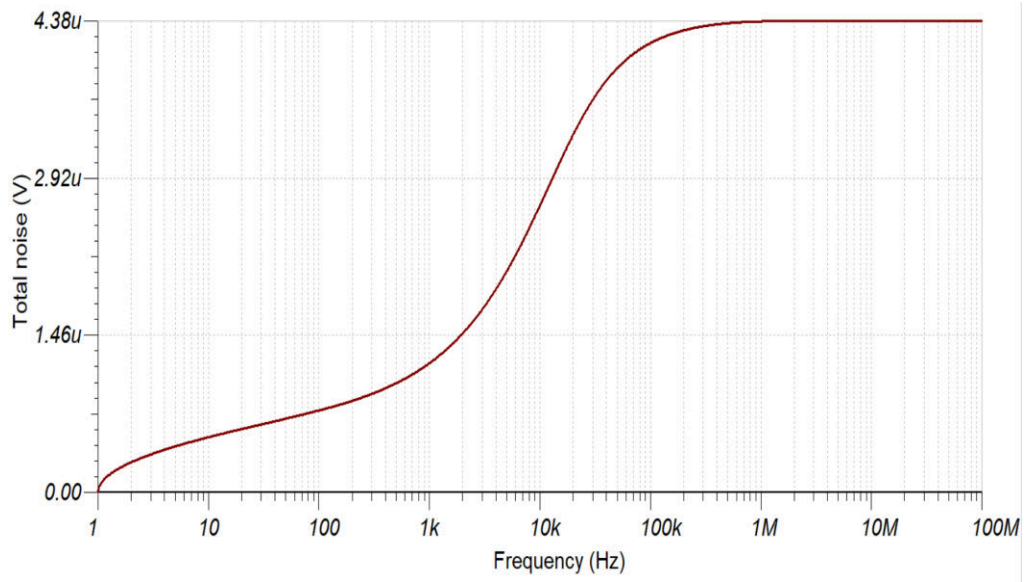
$$E_{n_OPA_RTI} = e_{n_OPA} \times \sqrt{K_n \times f_C} = (28nV / \sqrt{Hz}) \times \sqrt{1.57 \times 17.2kHz} = 4.6\mu V_{rms}$$

$$E_{n_OPA_RTO} = E_{n_OPA_RTI} \times \frac{R_4}{R_3 + R_4} = (4.6\mu V_{rms}) \times \frac{12k\Omega}{1k\Omega + 12k\Omega} = 4.25\mu V_{rms}$$

施加在 ADC 输入端的总噪声：

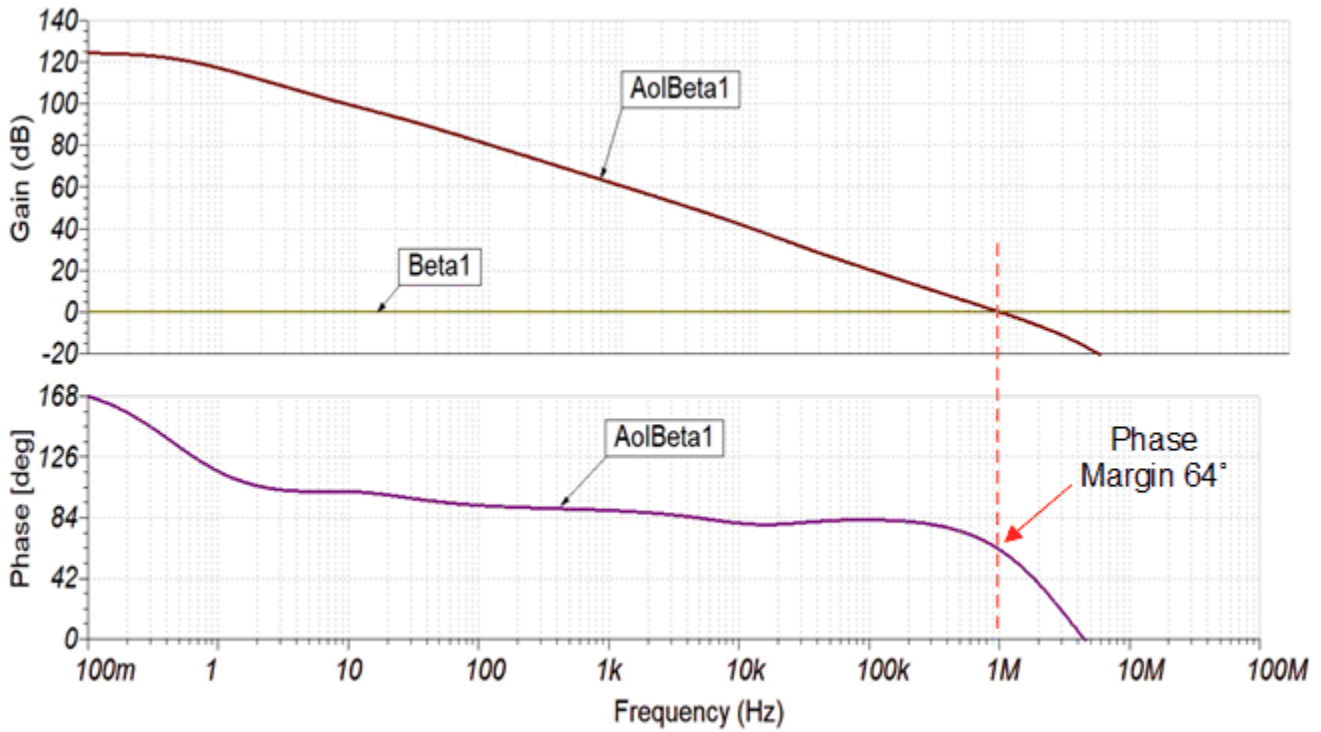
$$E_{n_total} = \sqrt{E_{n_Req1_RTO}^2 + E_{n_Req2}^2 + E_{n_OPA_RTO}^2} = \sqrt{0.194\mu V_{rms}^2 + 0.64\mu V_{rms}^2 + 4.25\mu V_{rms}^2} = 4.3\mu V_{rms}$$

计算噪声和仿真噪声匹配良好 (计算噪声 = $4.3\mu V_{rms}$ 和仿真噪声 = $4.38\mu V_{rms}$ ，如下图中所示)。请参阅 [TI 精密实验室 - 运算放大器](#)：有关放大器噪声计算的详细理论，参阅 [噪声 4](#)，[放大器噪声仿真 \(运算放大器](#)：有关放大器噪声仿真的详细理论，参阅 [噪声 5](#))，，有关数据转换噪声，参阅 [计算 ADC 系统的总噪声](#)。



稳定性仿真

以下仿真显示了前面所示解决方案的稳定性检查。该设计具有 64 度的相位裕度，表明该电路是稳定的。通常，相位裕度大于 45 度的电路被认为是稳定的。有关稳定性分析检查的更多信息，请观看[运算放大器：稳定性](#)视频系列。



设计参考资料

有关 TI 综合电路库的信息，请参阅《模拟工程师电路设计指导手册》。

请参阅 [TINA-TI](#) 仿真软件。

设计特色器件

器件	关键特性	链接	其他可能的器件
ADS8681	采 16 位、1MSPS、单通道，单电源、双极性输入的 SAR ADC	http://www.ti.com.cn/product/cn/ADS8681	http://www.ti.com/adcs
ADS8688	16 位、500kSPS、8 通道、非同步采样，单电源、双极性输入的 SAR ADC	http://www.ti.com.cn/product/cn/ADS8688	http://www.ti.com/adcs
ADS8686	16 位、1MSPS、16 通道、双路同步采样、单电源、双极性输入的 SAR ADC	http://www.ti.com.cn/product/cn/ADS8686S	http://www.ti.com/adcs

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 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。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122

Copyright © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司