

Analog Engineer's Circuit

具有 $\pm 250\text{mV}$ 输入范围和单端输出电压的隔离式电流检测电路

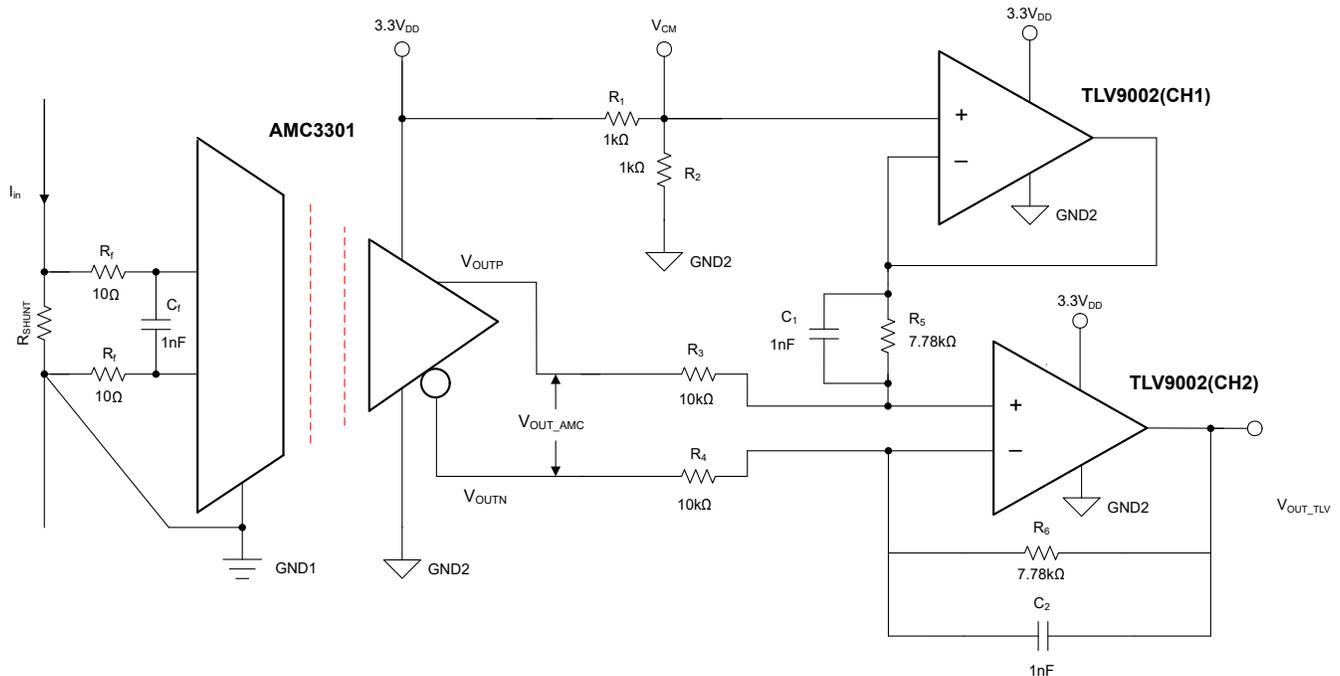
Data Converters

设计目标

电流源		输入电压		输出电压	单电源
$I_{IN\ MIN}$	$I_{IN\ MAX}$	$V_{IN\ DIFF,\ MIN}$	$V_{IN\ DIFF,\ MAX}$	$V_{OUT\ SE}$	V_{DD}
-10A	10A	-250mV	250mV	55mV 至 3.245V	3.3V

设计说明

该隔离式电流检测电路可以准确地测量 -10A 至 10A 甚至更广范围的负载电流，其中 $25\text{m}\Omega$ 分流电阻器上的标称功率耗散为 2.5W 。隔离式放大器输入的线性范围为 -250mV 至 250mV ，差分输出摆幅为 -2.05V 至 2.05V ，输出共模电压 (V_{CM}) 为 1.44V 。隔离式放大器电路的增益固定为 8.2V/V 。TLV9002 用于将差分输出信号转换为单端信号，该信号可用于 ADS8326 等单端 ADC 以及缓冲分压器产生的 V_{CM} 。 1.65V 基准电压用于设置最终的输出电压范围和共模电压电平。



设计说明

1. 选择 AMC3301 是因为其精度、输入电压范围，并且该器件只需单个低侧电源。
2. 选择 TLV9002 是因为其低成本、低失调电压、小尺寸和双通道封装。
3. 为 AVDD 选择低阻抗、低噪声源，用于为 TLV9002 和 AMC3301 供电并为单端输出提供共模电压。
4. 为获得超高精度，请使用温度系数低的精密分流电阻器。
5. 为预期峰值输入电流电平选择分流器。
6. 对于连续运行，根据 IEEE 标准，建议在正常条件下，分流电阻器的工作电流不超过额定电流的三分之二。对于具有严格功耗要求的应用，可能需要进一步降低分流电阻或增加额定功率。
7. 使用适当的电阻分压器值来设置 TLV9002 通道 1 上的共模电压。
8. 为 TLV9002 通道 2 上的增益设置电阻器选择合适的值，以便单端输出具有合适的输出摆幅。

设计步骤

1. 确定在给定的隔离放大器输入电流范围和固定增益情况下的传递方程。

$$V_{OUT} = I_{in} \times R_{shunt} \times 8.2$$

2. 确定最大分流电阻器值。

$$R_{SHUNT} = \frac{V_{inMax}}{I_{inMax}} = \frac{250mV}{10A} = 25m\Omega$$

3. 确定最小分流电阻器功率耗散。

$$Power_{RSHUNT} = I_{inMax}^2 \times R_{SHUNT} = 100A \times .025\Omega = 2.5W$$

4. 为了连接 3.3V ADC，AMC3301 和 TLV9002 都可在 3.3V 电源电压下工作，因此可以使用单电源。
5. TLV9002 的通道 1 用于设置通道 2 的单端输出的 1.65V 共模电压。在使用 3.3V 电源的情况下，可以使用一个简单的电阻分压器将 3.3V 分压为 1.65V。在使用 1kΩ 的 R2 时，可以通过以下公式计算 R1。

$$R_1 = \frac{V_{DD} \times R_2}{V_{CM}} - R_2 = \frac{5V \times 1000\Omega}{2.5V} - 1000\Omega = 1000\Omega$$

6. TLV9002 是一款轨到轨运算放大器。不过，TLV9002 输出相对于其电源轨的最大摆幅为 55mV。为满足此要求，TLV9002 的单端输出摆动范围应该为 55mV 至 3.245V (3.19Vpk-pk)。
7. AMC3301 的 V_{OUTP} 和 V_{OUTN} 输出为 2.05Vpk-pk，具有 180 度的相位差，共模电压为 1.44V。因此，差分输出为 ±2.05V 或 4.1Vpk-pk。

为了保持在 TLV9002 的输出限制范围内，AMC3301 的输出需要衰减为原来的 3.19/4.1。当 R₃ = R₄ 且 R₅ = R₆ 时，可以使用差分转单端级的以下传递函数来计算 R₅ 和 R₆。

$$V_{OUT_TLV} = (V_{OUTP} - V_{OUTN}) \times \left(\frac{R_{5,6}}{R_{3,4}} \right) + V_{CM}$$

8. 通过使用之前计算的 TLV9002 输出摆幅并将 R₃ 和 R₄ 选为 10kΩ，可以使用以下公式计算得出 R₅ 和 R₆ 为 7.78kΩ。

$$3.245 = (2.465V - 415mV) \times \left(\frac{R_{5,6}}{10k\Omega} \right) + 1.65$$

在使用标准的 0.1% 电阻值时，可以使用 7.77kΩ 电阻器。这将提供 TLV9002 限制范围内的最大输出摆幅。

9. 电容器 C1 和 C2 与电阻器 R5 和 R6 并联放置，以限制高频成分。当 R₅ = R₆ 且 C₁ = C₂ 时，可以通过以下公式计算截止频率。

$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times R_{5,6} \times C_{1,2}}$$

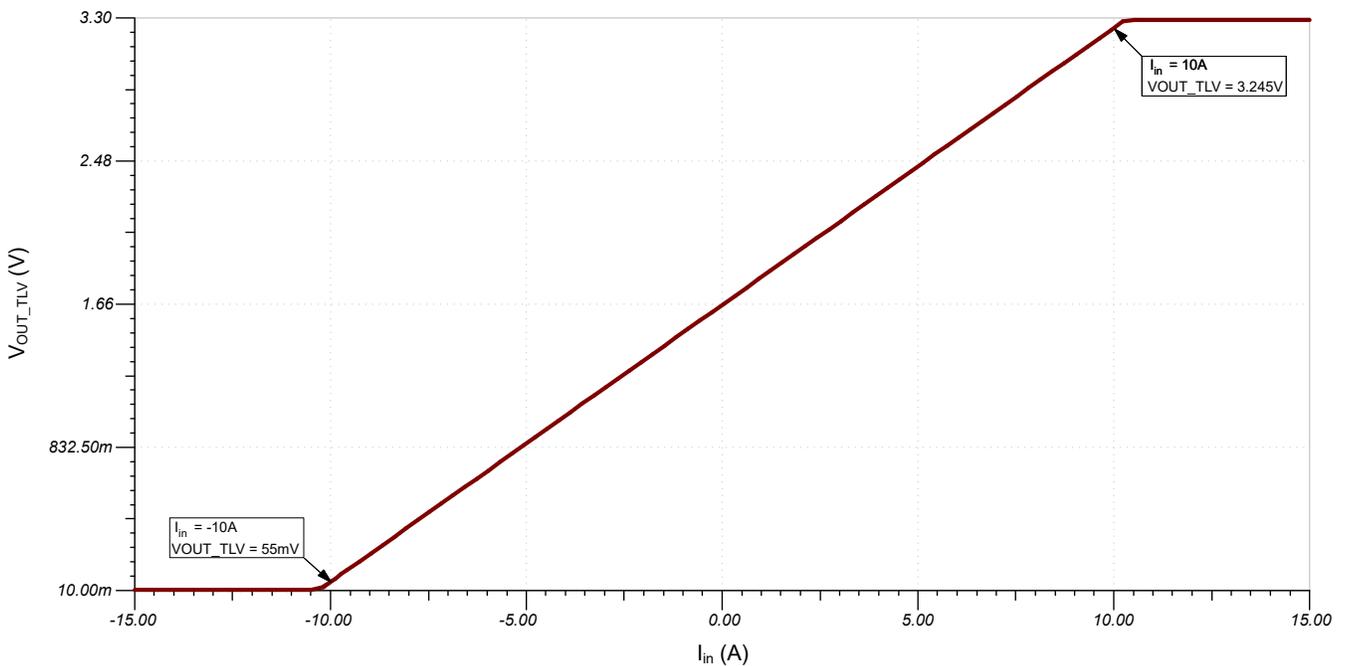
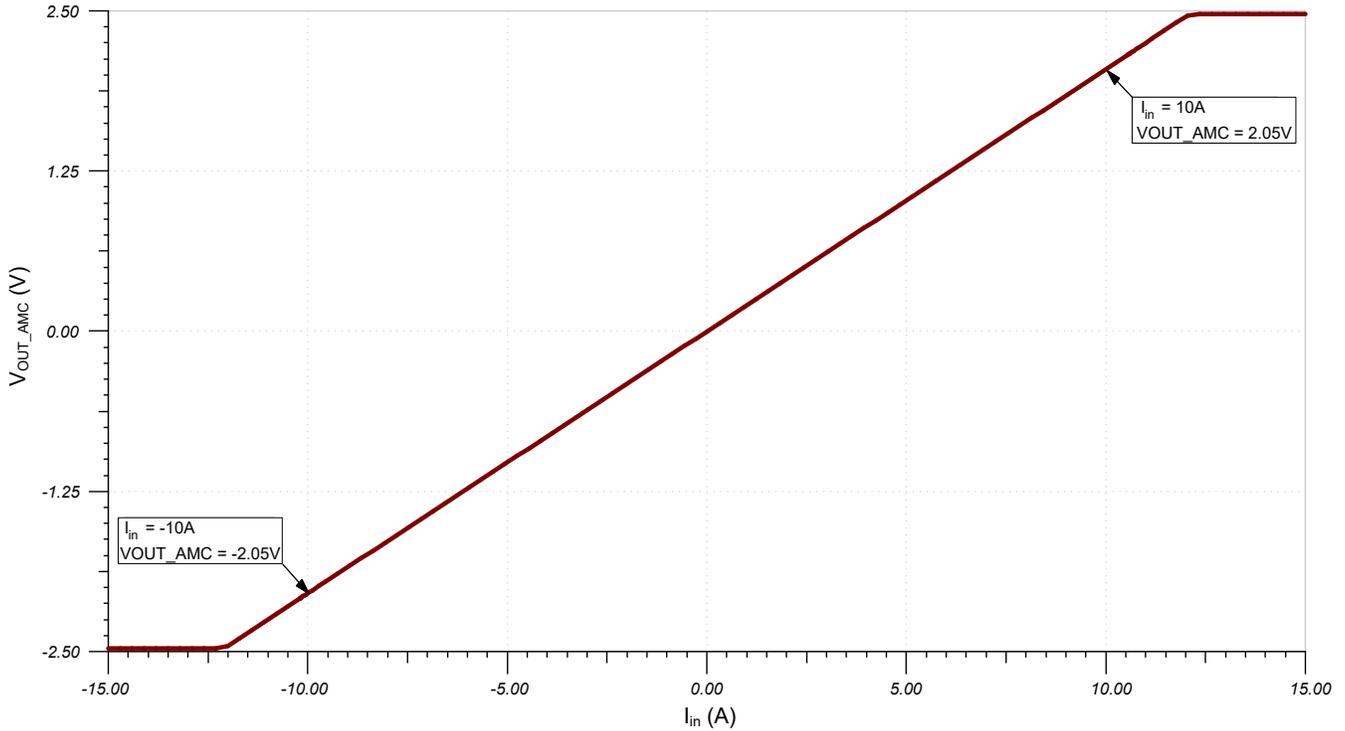
当 C1 = C2 = 1nF 且 R5 = R6 = 7780Ω 时，可以计算得出截止频率为 20.45kHz。

$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times 7780\Omega \times 1nF} = 20.45kHz$$

设计仿真

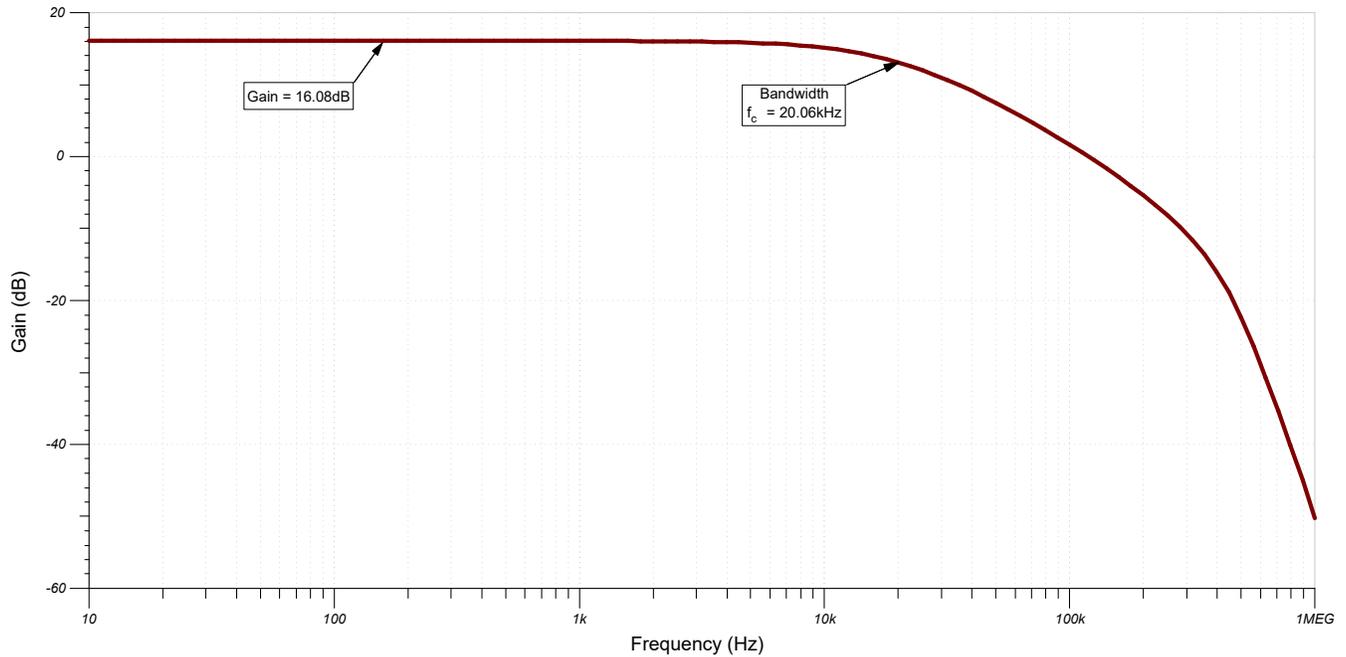
直流仿真结果

下图显示了 AMC3301 差分输出和 TLV9002 放大器单端输出的仿真直流特性。这两个图都表明，输出在 $\pm 10A$ 范围内呈线性。



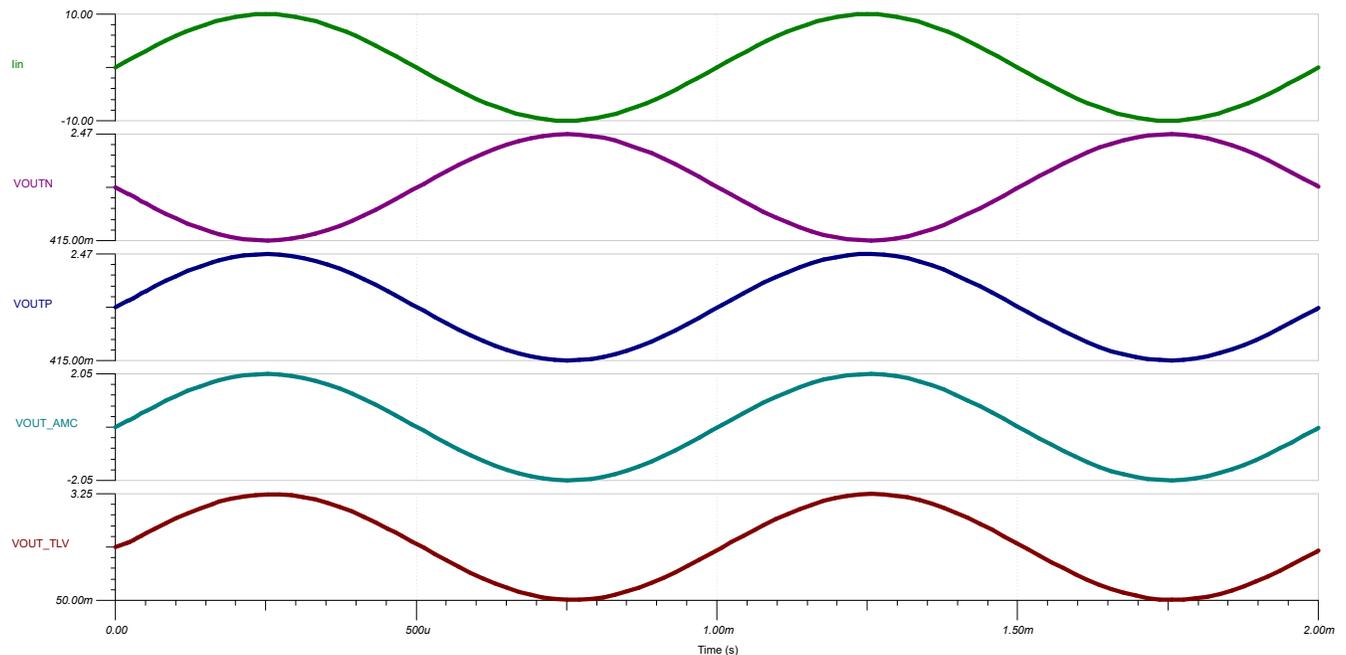
闭环交流仿真结果

以下交流扫描显示了单端输出的交流传递特性。使用之前[最后一个公式](#)中计算出的截止频率，可以看出仿真结果与实际情况非常相符。由于 AMC3301 的增益为 8.2V/V，并且应用到差分至单端转换的增益为 0.778V/V，因此预计下图中所示的增益为 16.11dB。



瞬态仿真结果

以下瞬态仿真显示了 AMC3301 和 TLV9002 在 -10A 至 10A 范围内的输出信号。AMC3301 的差分输出符合预期，为 $\pm 2.05\text{Vpk-pk}$ ，而单端输出为 3.19Vpk-pk ，摆幅为 55mV 至 3.245V 。



设计参考资料

请参阅 [模拟工程师电路设计指导手册](#)，了解 TI 综合电路库，并参阅 [将差分输出 \(隔离式\) 放大器连接到单端输入 ADC 应用简报](#)，了解有关差分至单端输出转换的更多信息。

设计采用的隔离式放大器

AMC3301	
工作电压	1200 V _{RMS}
增益	8.2 V/V
带宽	300 kHz (典型值)
线性输入电压范围	±250 mV
AMC3301	

设计备选隔离式放大器

AMC3330	
工作电压	1200V _{RMS}
增益	2V/V
带宽	310kHz (典型值)
线性输入电压范围	±1000mV
AMC3330	

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司