

Analog Engineer's Circuit

采用 AMC1350 的三相隔离式电压检测电路



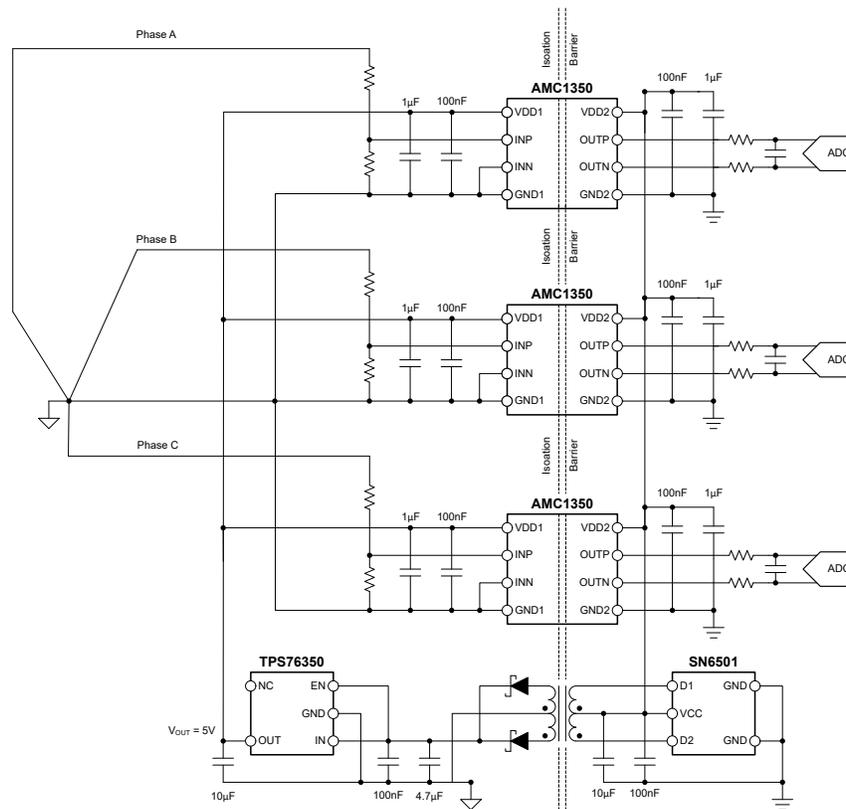
Amplifiers

设计目标

电压源		AMC1350 输入电压		AMC1350 输出电压 VDD2 / 2 共模 ($V_{OUTP} - V_{OUTN}$)		电源	
V_{MAX}	V_{MIN}	$V_{IN, MAX}$	$V_{IN, MIN}$	$V_{OUT, MAX}$	$V_{OUT, MIN}$	VDD1	VDD2
480V	-480V	5V	5V	4V	-4V	3V - 5.5V	3V - 5.5V

设计说明

该电路利用 AMC1350 隔离放大器和分压器电路执行三相、线对中性、隔离式电压检测测量。分压器电路将电压从 $\pm 480V$ 降至 $\pm 5V$ ，从而与 AMC1350 的输入范围相匹配。AMC1350 由高侧和低侧电源供电。通常，使用浮动电源生成高侧电源，或者使用隔离式变压器或隔离式直流/直流转换器生成低侧电源。AMC1350 可以 $0.4V/V$ 的固定增益测量 $\pm 5V$ 的差动信号。AMC1350 的差动输入阻抗为 $1.25M\Omega$ ，支持高电压应用中的低增益误差和低漂移误差信号检测。



设计说明

1. AMC1350 非常适合电压检测应用，因为它具有高输入阻抗和低输入偏置电流，这两种情况都可以更大幅度地减小直流误差。
2. 验证系统线性运行是否具有所需的输入信号范围。此验证通过使用 [直流传输特性](#) 部分中的仿真来执行。
3. 确保电阻分压器电路中使用的电阻器能够将源极输入电压降至 $\pm 5V$ 的 AMC1350 输入电压范围。
4. 确保电阻分压器电路中的电阻器具有足够的工作电流和电压额定值。
5. 验证 AMC1350 输入电流是否小于数据表的绝对最大额定值表中所述的 $\pm 10mA$ 。

设计步骤

1. 计算分压器电路的电压源与 AMC1350 输入的比率。

$$\frac{5V_{AMC1350, INPUT}}{480V} = 0.010417$$

2. AMC1350 的典型输入阻抗为 $1.25M\Omega$ 。该阻抗与电阻器 R_5 并联，在设计分压器电路时必须予以考虑。为 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 选择 $1M\Omega$ 电阻。使用前一步骤中的比率和下面的分压器公式，求解分压器的 R_5 和 AMC1350 输入阻抗并联组合 (\parallel) 所需的等效电阻。

$$\frac{R_5 \parallel R_{IN, AMC1350}}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \parallel R_{IN, AMC1350}} = 0.010417$$

$$\frac{R_5 \parallel R_{IN, AMC1350}}{4M\Omega + R_5 \parallel R_{IN, AMC1350}} = 0.010417$$

$$R_5 \parallel R_{IN, AMC1350} = 42,736.37\Omega = R_{EQ}$$

3. 使用 $1.25M\Omega$ 替换 AMC1350 输入阻抗并使用以下公式，求解 R_5 。使用 [模拟工程师计算器](#) 来确定 R_5 的最接近标准值。

$$R_{EQ} = 42,736.37\Omega = \frac{R_5 \times R_{IN, AMC1350}}{R_5 + R_{IN, AMC1350}} = \frac{R_5 \times 1.25M\Omega}{R_5 + 1.25M\Omega}$$

$$42,736.37\Omega(R_5 + 1.25M\Omega) = R_5 \times 1.25M\Omega$$

$$R_5 = 44.249k\Omega; \text{ closest standard value} = 44k\Omega$$

4. 验证等效电阻是否接近第 2 步中计算得出的电阻。

$$R_{EQ} = \frac{R_5 \times R_{IN, AMC1350}}{R_5 + R_{IN, AMC1350}} = \frac{44k\Omega \times 1.25M\Omega}{44k\Omega + 1.25M\Omega} = 42.503k\Omega$$

5. 验证分压器电路是否处于合理的容差范围内。对于以下计算，假设 AMC1350 的输入电阻典型值为 $1.25M\Omega$ ，这会导致 5.1% 的误差。但是，请考虑由于制造公差的变化，输入电阻因器件而异。如果该误差范围是不可接受的，则必须执行校准，或者可以减小分压器电路的电阻。

$$\frac{42.503k\Omega}{4.042503M\Omega} = 0.01051$$

$$\text{Error}\% = \frac{|\text{Actual} - \text{Calculated}|}{\text{Calculated}} \times 100 = \frac{|0.01051 - 0.010417|}{0.010417} \times 100 = 0.9\%$$

6. 计算从电压源流经分压器电路的电流，以确保功率耗散不超过电阻器的额定值。有关更多详细信息，请参阅 [高电压测量注意事项](#)。

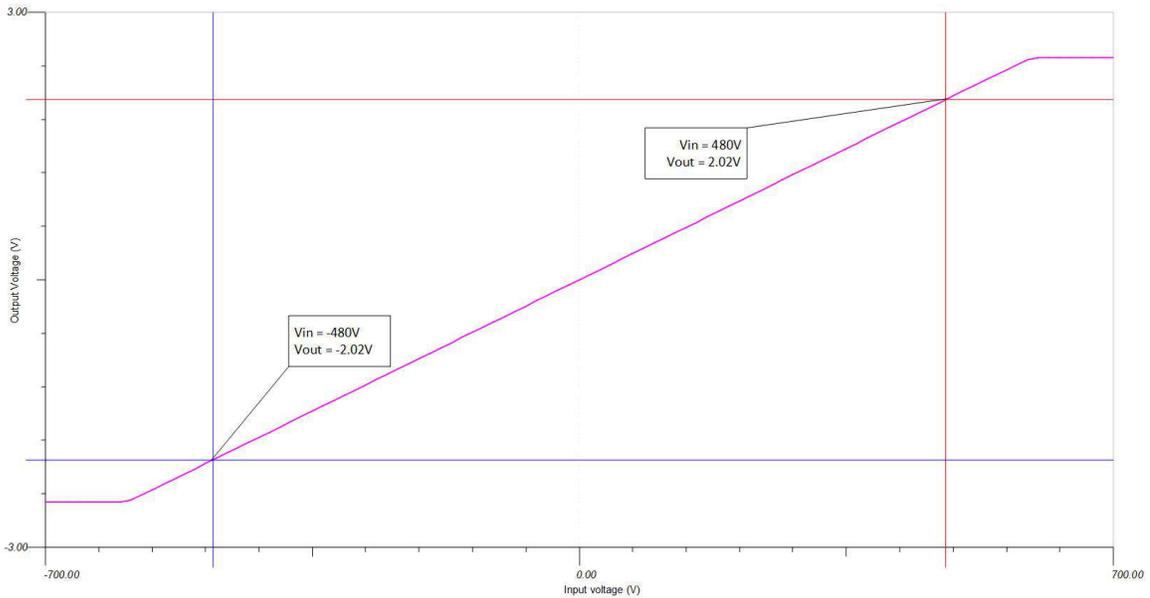
$$V = IR; \frac{V}{R} = \frac{480V}{4M\Omega + 42k\Omega} = 118.69\mu A$$

7. 由于分压器的增益为 0.010417，AMC1350 的增益为 0.4V/V，因此可以使用传递函数公式 $V_{OUT} = GAIN \times V_{IN}$ 计算 480V 输入电压的输出电压。

$$V_{OUT} = \frac{5}{480} \times 0.4 \times 480 = 2V$$

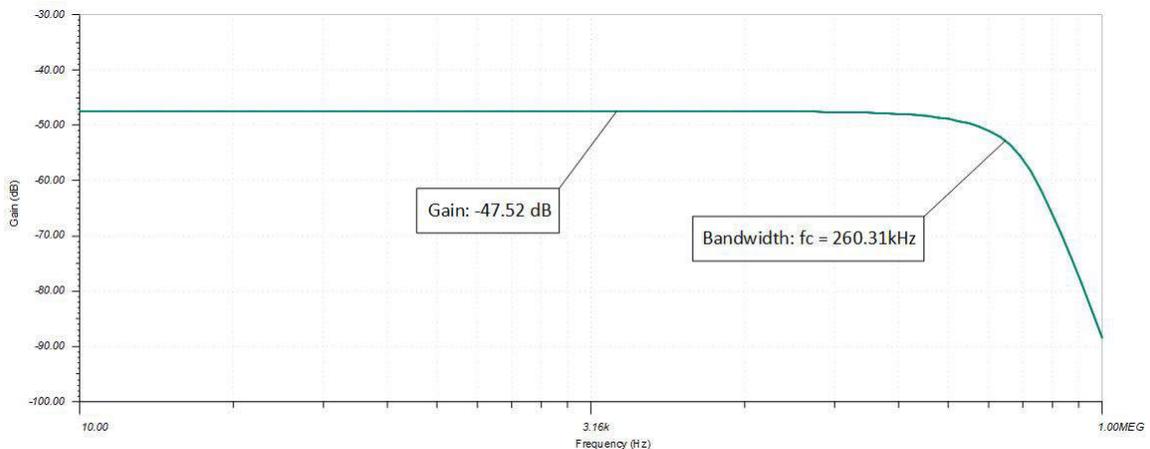
直流传输特性

下图所示为 $\pm 480V$ 输入下的 AMC1350 仿真输出。在 480V 输入电压下，根据 [步骤 7](#) 的计算结果，输出电压约为 2.02V。



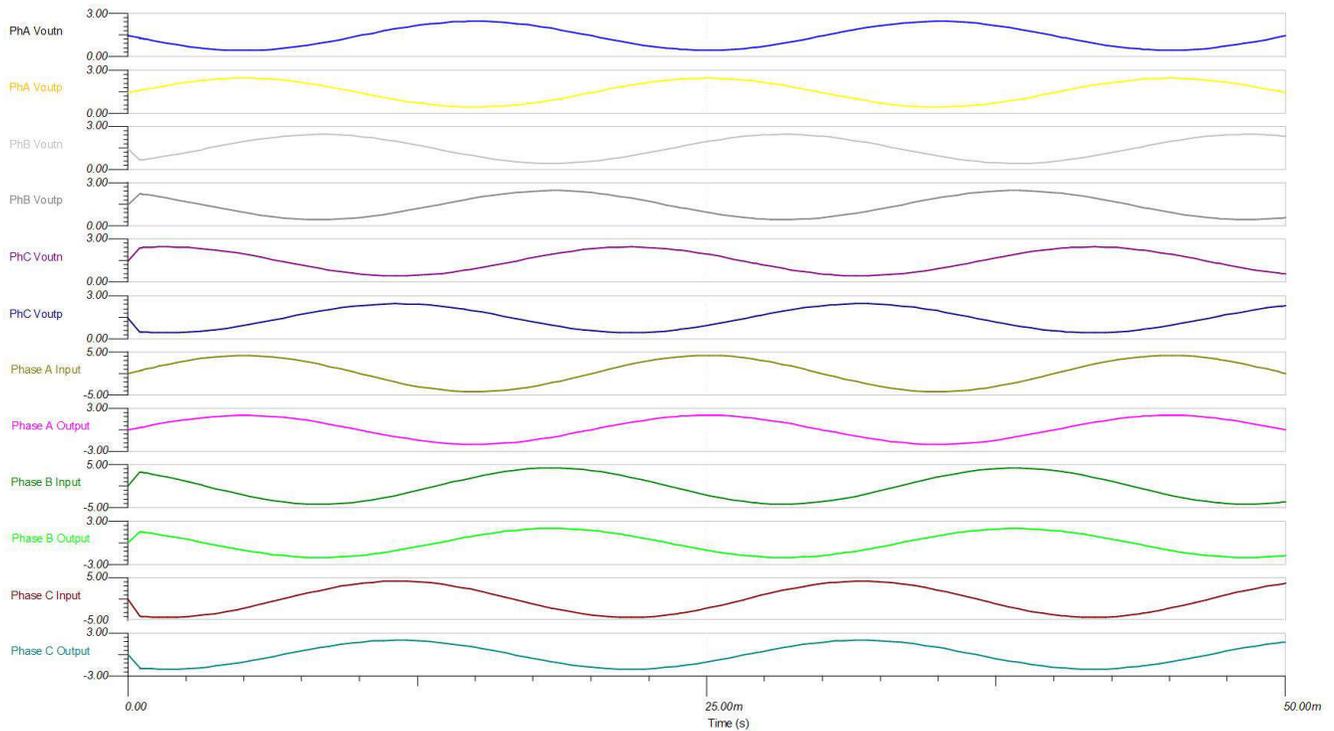
交流传输特性

仿真增益为 $-47.52dB$ (或 $0.0041V/V$)，这与分压器和 AMC1350 的预期增益非常接近。



瞬态

以下仿真显示了 AMC1350 的输入和输出信号。



参考资料

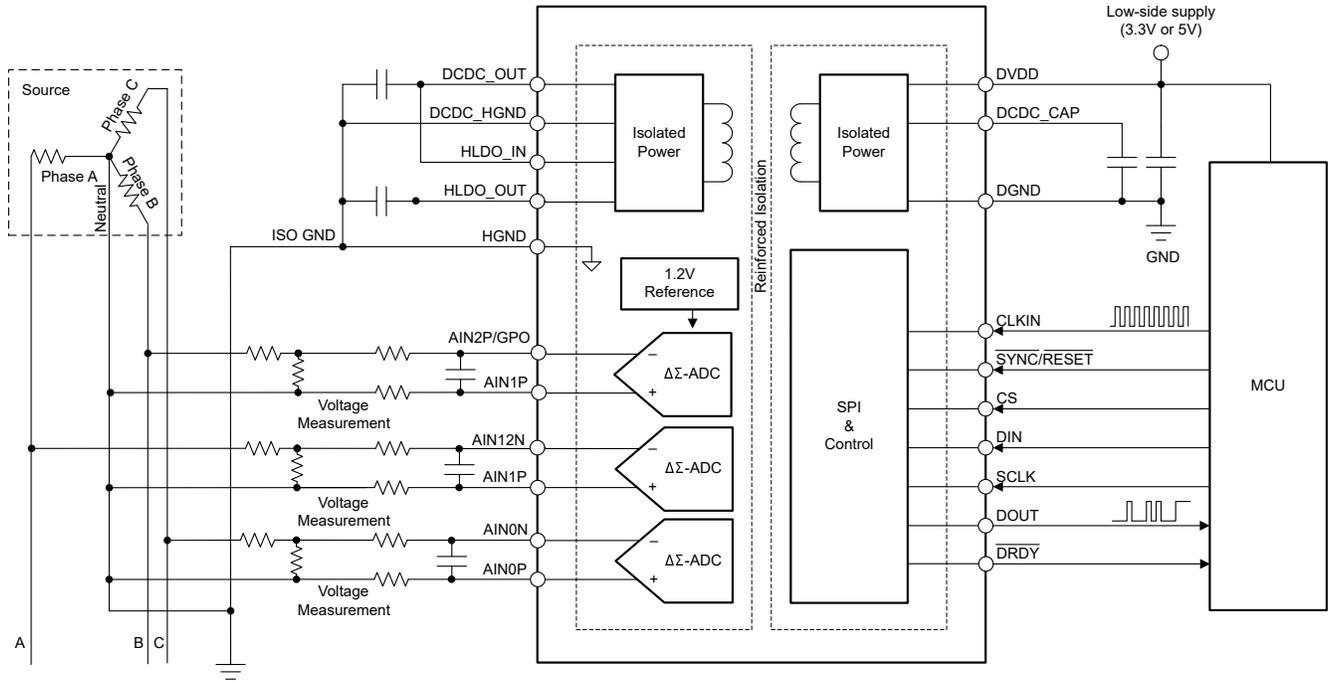
1. 德州仪器 (TI), [隔离信号链解决方案工程师指南电子书](#)
2. 德州仪器 (TI), [使用 AMC3330 模拟工程师电路进行线间隔离电压测量的分接头连接](#)
3. 德州仪器 (TI), [模拟电路设计和开发](#)
4. 德州仪器 (TI), [TI 高精度实验室](#)

设计中采用的 AMC0330D、AMC0330R、AMC0330S

AMC0330D	
VDD1	3V 至 5.5V
VDD2	3V to5.5V
输入电压范围	±1V
标称增益	2
输入电阻	1G Ω (典型值)
输出带宽	110kHz (典型值)
输入失调电压和漂移	±1.5mV (最大值), ±10μV/°C (最大值)
增益误差和漂移	±0.25% (最大值), ±40ppm/°C (最大值)
非线性度	0.05% (最大值)
隔离瞬态过压	7kV _{PEAK}
工作电压	1kV _{RMS}
共模瞬态抗扰度 (CMTI)	50V/ns (最小值)
AMC0330D 、 AMC0330R 、 AMC0330S	

设计备选器件 AMC131M03

AMC131M03 是一款精密、低功耗、隔离式三通道三角积分 ($\Delta\Sigma$) 模数转换器 (ADC)，具有增强的隔离能力，与分压器配合使用时，还可用于执行三相、线对中性、隔离式电压检测测量。AMC131M03 的每个通道都需要通过电阻分压器连接到三相电压之一，从而降低到 ADC 的输入电压范围。该器件具有完全集成的隔离式直流/直流转换器，能实现器件低侧的 3.3V 或 5V 单电源运行。如果器件执行测量，ADC 会将三相测量值转换为数字数据。器件可通过串行外设接口 (SPI) 通信输出数字化数据，从而实现与微控制器的直接通信。动态范围、尺寸、功能集和功耗针对需要同步采样的成本敏感型应用进行了优化。



AMC131M03	
V_{DVDD}	3V 至 5.5V
输入电压范围	V_{ref} / 增益
增益	高达 128 的可编程增益
输入偏移误差和漂移 (通道 0、1)	$\pm 100\mu\text{V}$ (典型值), $\pm 0.5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (最大值)
输入偏移误差和漂移 (通道 2)	$\pm 120\mu\text{V}$ (典型值), $\pm 0.5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (最大值)
增益误差和漂移 (通道 0)	$\pm 0.2\%$ (最大值), $\pm 25\text{ppm}/^\circ\text{C}$ (最大值)
增益误差和漂移 (通道 1、2)	$\pm 1\%$ (最大值), $\pm 25\text{ppm}/^\circ\text{C}$ (最大值)
非线性度	FSR 的 6ppm
隔离瞬态过压	7070V _{PEAK}
工作电压	1.2kV _{RMS}
共模瞬态抗扰度 (CMTI)	100V/ns (最小值)

AMC131M03

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司