

TI 高精度设计：参考设计

0-5A, 单电源, 2kV 隔离式电流检测解决方案



TI 高精度设计

TI 高精度设计是由 TI 模拟产品专家创建的模拟解决方案。参考设计提供原理、器件选择和有用电路的仿真。还讨论了有助于符合替代设计目标的电路修改。

电路描述

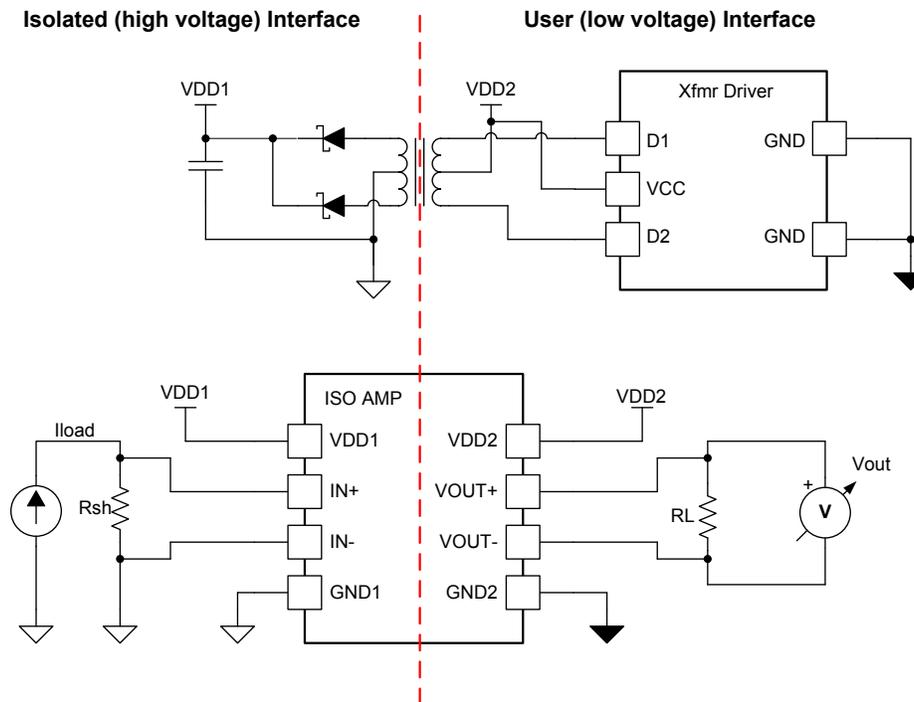
这个单电源隔离式电流检测设计可被用来以高达 2500Vrms 的隔离来监控 0-5A 电流。通过一个具有 8V/V 固定增益的隔离放大器来完成隔离式电流测量。到隔离放大器 (VDD1) 的隔离侧的 5V 电源, 使用一个推挽驱动器和小型隔离变压器, 由用户接口电源 (VDD2) 提供。

设计资源

[设计存档](#) 全部设计文件
[TINA-TI™](#) SPICE 仿真工具
[AMC1200](#) 产品文件夹
[SN6501](#) 产品文件夹



[请访问模拟产品专家](#)
[WEBENCH® 设计中心](#)
[TI 高精度设计库](#)



这个 TI 参考设计末尾的一个重要声明解决了授权使用、知识产权问题和其他重要的免责声明和信息。

TINA-TI 是德州仪器 (TI) 的商标
 WEBENCH 是德州仪器 (TI) 的注册商标

1 设计汇总

设计要求如下：

- 生成的隔离电源电压 (VDD1)： 5.0Vdc ($\pm 3\%$)
- VDD1 输出电流： 8mA (最大值)
- 隔离式电流检测： 0-5A
- 最大分流电压： 250mV

Table 1 中总结了设计目标和性能。 Figure 1 图示此设计的测得的瞬态响应。

表 1： 设计目标和仿真/测得性能的比较

	目标值	模拟值
偏移电压	$\pm 2\text{mV}$	-957.09 μV
电流测量误差 (%FSR)	$\pm 0.5\%$	-0.27%
	目标值	测得值
VDD1 电源电压	$\pm 3\%$	+6-8%

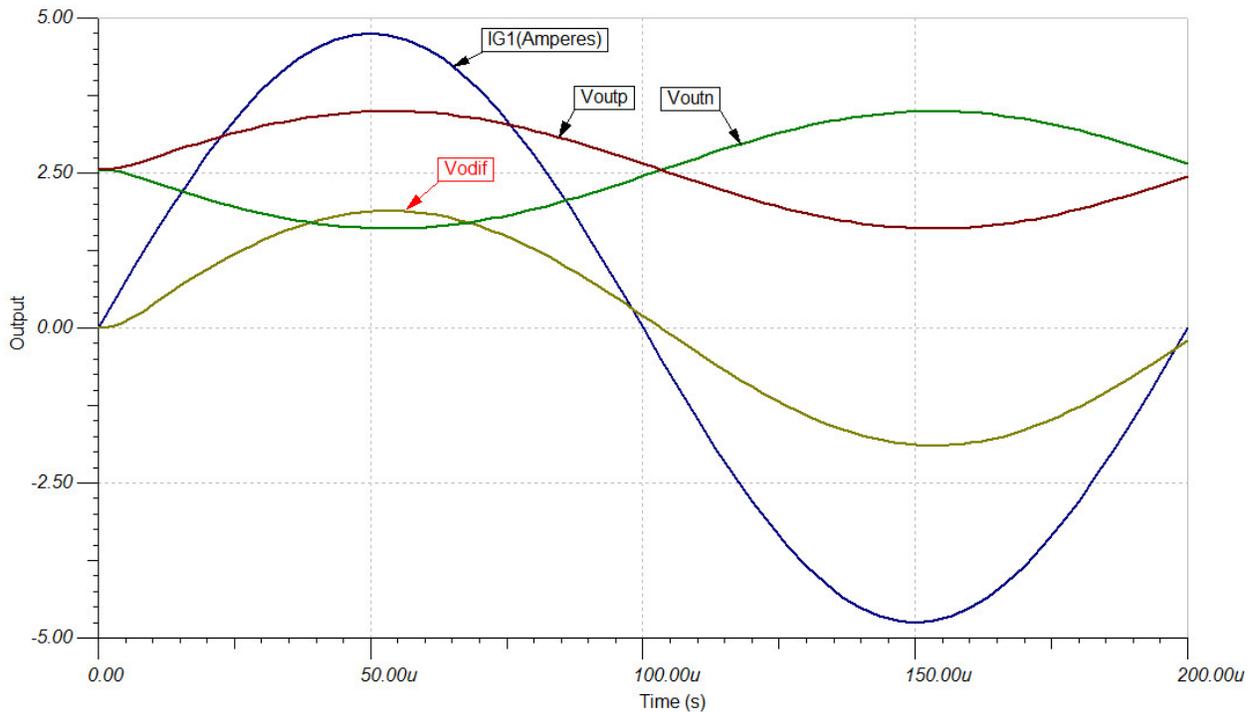


图 1： 仿真瞬态响应

2 工作原理

这个设计有两层目的；主要目的是能够显示交流直流源的 0-5A 准确电流测量值。第二个目的是由用户接口，或输出侧上，隔离放大的 5V 电源为电流分流监控器的隔离侧供电。

2.1 隔离式电流分流测量

将在电路的隔离侧 (Iload) 上感测的电流将通过一个分流电阻 (Rsh) 馈入。Iload 在分流电阻上生成一个与分流电阻器的值成比例的电压 (Vsh)。此电路的差分输出电压是放大器增益 (G) 与分流 Vsh 上的电压的积。AMC1200 输出具有一个基于 VDD2 电源轨的固定共模电压。当 VDD2 等于 5V 时，输出共模电压为 2.55V。

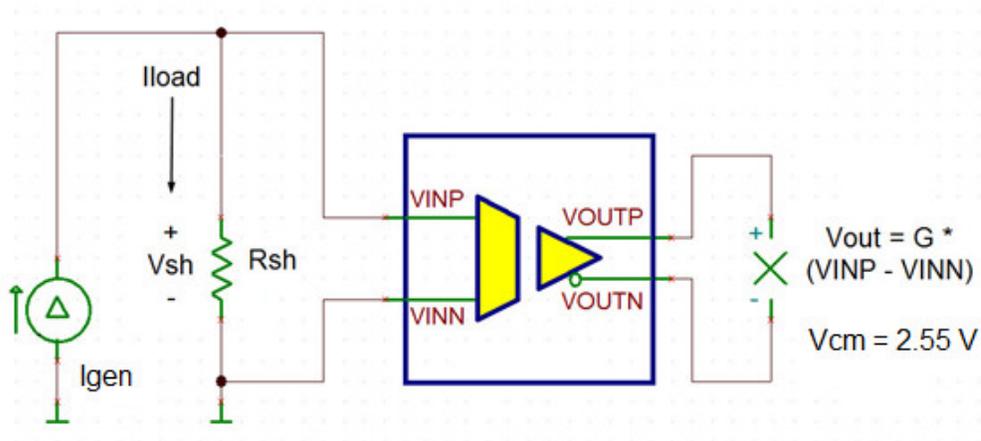


图 2: 隔离放大器拓扑结构

2.2 隔离式电源

提供一个 5V 高侧电源将通过使用一个推挽驱动器 (SN6501)，一个脉冲变压器，两个整流器，和多层陶瓷电容实现。图表 3 图示将为隔离放大器输入侧提供必要电源的基本变压器电路。VDD1 是电路的“高压侧”或隔离侧，而 VDD2 是用户 5V 电源。这个设计中使用的变压器的额定隔离电压为 2500Vrms。

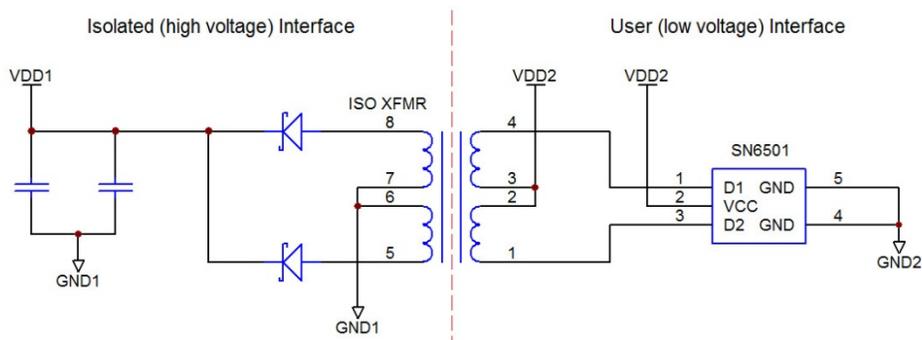


图 3: 隔离变压器拓扑结构

V_{sh} 的量级与流经分流电阻, R_{sh} 的电流成比例。 斩波前, 此放大器能够看到的最大 V_{sh} 为 $\pm 320\text{mV}$ 。 为了保持在一个线性运行范围内, 到放大器的额定最大差分电压被限制为 $\pm 250\text{mV}$ 。 这将是分流电阻大小的限制因素。 以下等式可被用来计算 R_{sh} 的值:

$$R_{sh}(\text{max}) = \frac{250\text{mV}}{5\text{A}} = 0.05\Omega \quad (1)$$

建议使用可能的最大分流电阻来提供最宽的系统动态范围。 使用一个较大的分流也会产生检测元件功率耗散增加的负面效应。 作为一个通用规则, 使用一个功率额定值至少为电路中预计典型功率耗散 1.5 倍的感测电阻来最大限度地减少由自发热引起的噪声。 流经电阻 (PR_{sh}) 的功率是电流平方与等式 (2) 详述的分流电阻值的乘积。

$$PR_{sh} = I^2 * R_{sh} = 5\text{A}^2 * 0.05\Omega = 1.25\text{W} \quad (2)$$

这个设计中的增益由隔离放大器固定在 $G = 8$, 并且可使用等式 (3) 来评估。

$$G = \frac{V_{out}}{V_{sh}} = \frac{V_{out}}{R_{sh} * I_{load}} = \frac{2.0\text{V}}{0.05\Omega * 5\text{A}} = 8 \frac{\text{V}}{\text{V}} \quad (3)$$

3 器件选择

3.1 隔离放大

AMC1200 被选中用于这个应用，这是因为其高输入带宽，从其高侧电源汲取的低电流，以及其高压隔离功能。

3.2 整流器选择

整流器选择

选中的整流器二极管应该具有低正向电压，以便为转换器输出提供尽可能多的电压。

当在高频开关应用中使用时，整流器也必须具有一个短恢复时间。肖特基二极管满足这两个要求。8mA 正向电流时具有一个典型值为大约 100mV 的 MBR0520L 被用于这个低压设计。

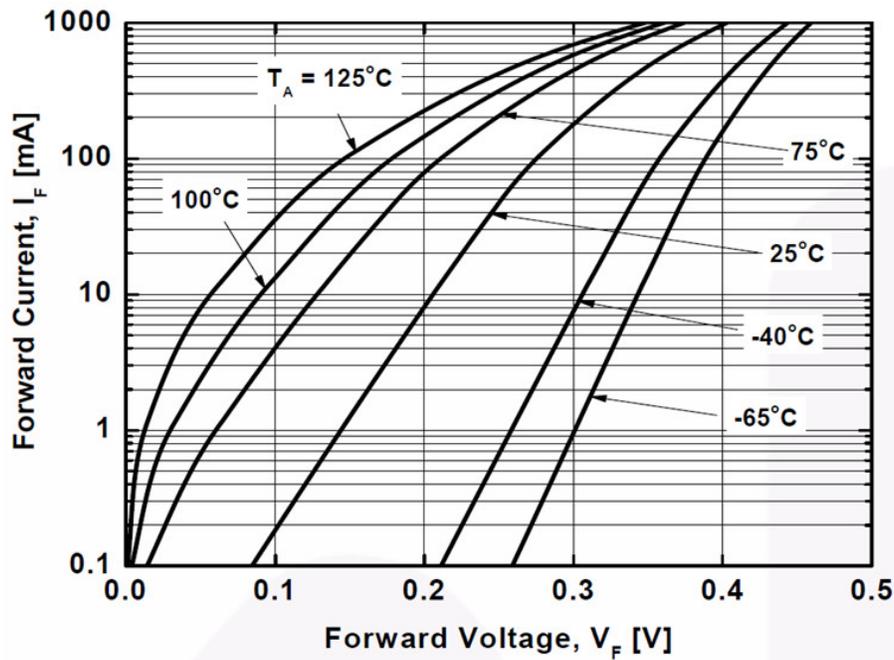


图 4：整流器的正向电压

3.3 变压器选择

为了确保磁芯不会饱和，磁性元件被设计成在控制器的每个开关周期内消耗平均储存磁通量。这被称为伏秒平衡。在开关接通时，施加到磁性元件上的平均伏秒必须等于关闭器件磁性元件上的平均伏秒。为了防止隔离变压器饱和，其伏秒 (V-t) 积必须大于由 SN6501 施加的最大伏秒积。由 SN6501 传送的最大电压是标出转换器输入加上 10%。这个电压施加到初级上的最长时间是额定输入电压上最低频率周期的一半。SN6501 在 5V 运行时的最小开关频率为 300kHz。因此，变压器最小 V-t 积，正如 [SN6501](#) 数据表中的等式 (1) 和 (2) 确定的那样，为 9.1 μs 。

当搜索一个合适的变压器时，有必要确定所需的最小匝数比，此匝数比将使得推挽转换器在额定电流和温度范围内运行。这可以通过将次级与初级电压的比率乘以一个校正因数来表示，此因数将变压器的典型效率考虑在内。SN6501 数据手册内的等式 (3) 到等式 (8) 按照特定要求的步骤来确定一个指定应用的最小匝数比。对于这个设计，SN6501 数据表中的等式 (8) (假定不需要低压降稳压器) 被用作确定最小匝数比要求的起始点。匝数比的确定基于以下等式，这个等式假定具有 8mA 负载的整流器上有 100mV (Vf) 正向电压，放大器最小和最大电压要求与设计汇总中一致，SN6501 数据手册内注明的变压器校正因子和漏源电阻 ($R_{DS(on)}$)，以及设计汇总中列出的最大电流

$$N_{\min} = 1.031 * \frac{V_f + V_{out \max}}{V_{out \min} - R_{DS(on)} * I_{out}} = 1.031 * \frac{0.1V + 5.15V}{4.85V - 3\Omega * 8.5mA} = 1.12 \quad (4)$$

3.4 分流电阻

在 5A 负载时提供 250mV 的分流电阻被计算为 0.05 Ω 。这是一个标准值分流电阻，可提供 1% 耐受值，以及和一个低至 $\pm 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 的温度系数。

3.5 无源组件选择

此转换器电路中的电容器是多层陶瓷芯片 (MLCC) 电容器。与所有高速 CMOS IC 一样，SN6501 需要一个范围在 10nF 至 100nF 之间的旁路电容器。初级中心抽头上的输入大体积电容器为 10nF，它在快速开关瞬态期间支持电流流入初级。在变压器的次级侧，将在整流器输出上使用一个 22nF 的大体积电容器。

4 仿真

Figure 5 中显示的 TINA-TI™ 包括设计过程中获得电路值。

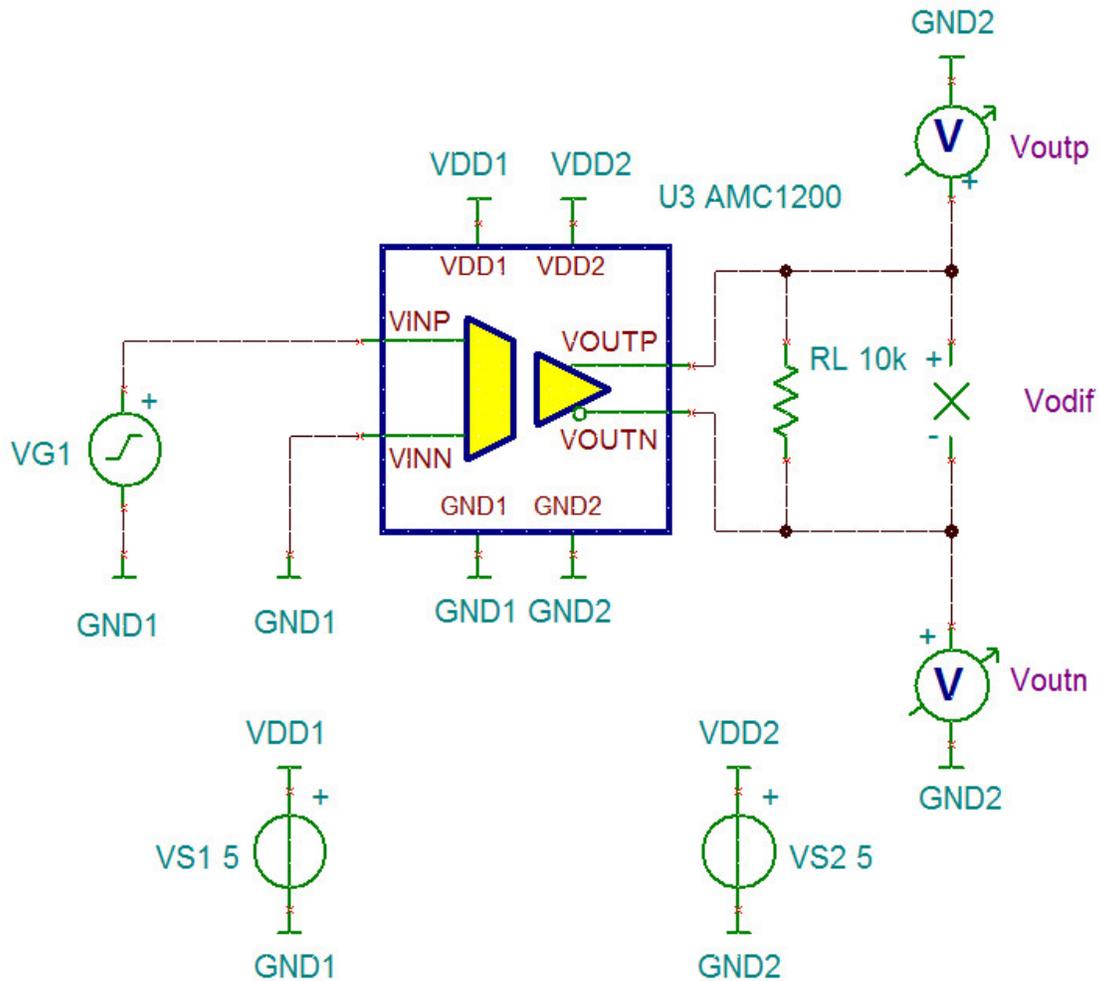


图 5: 隔离放大器的 TINA-TI™ 电路原理图

频率为 5kHz 时，电流源被定义为一个 5A 的正弦电流。可通过一个标准电压计监视此差分输出电压，或者传送到一个具有差分输入的模数转换器。AMC1200 的输出电压范围取决于施加的 VDD2。正如此处配置的那样，2.55V 共模电平时的输出摆幅为 $\pm 2V$ （差分）。

4.1 直流转换功能

Figure 6 中显示了直流转换功能模拟的结果。

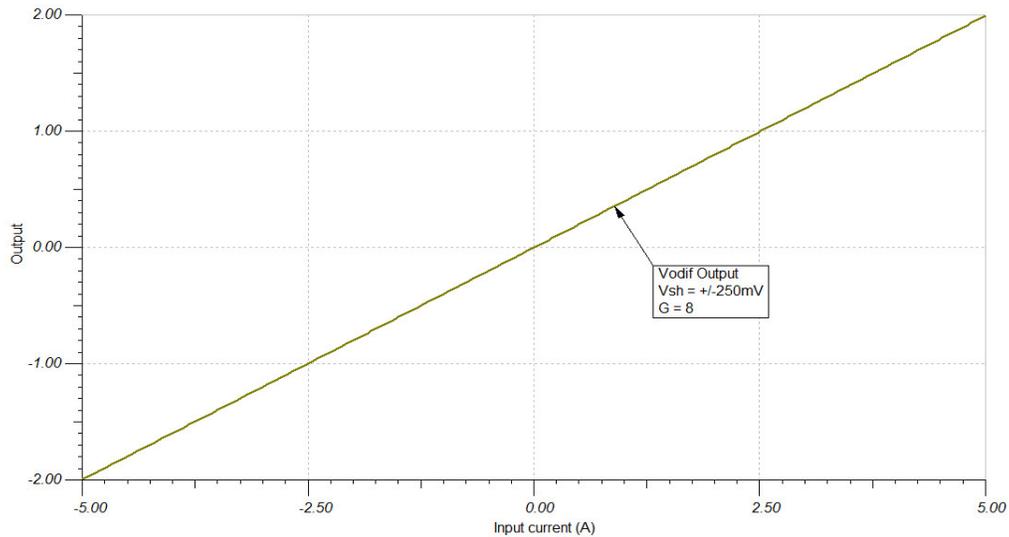


图 6： 直流转换功能

表 2： 输出电压与输入电流间的关系

电流 (A)	输出电压
-5	-1.9960V
0	-957.09 μ V
+5	1.9936V

4.2 频率响应

Figure 5 的电路交流转换特性被显示在 Figure 7 中。

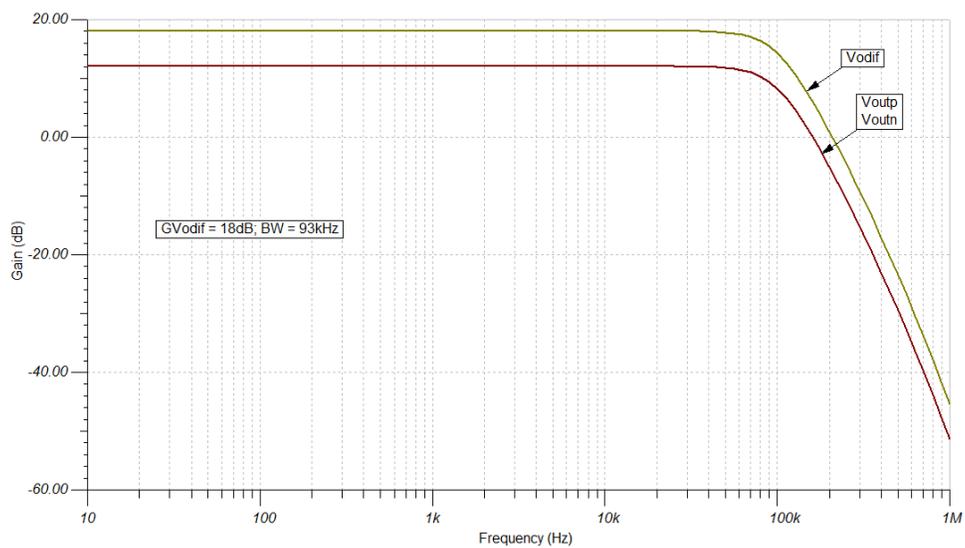


图 7： 交流分析

隔离放大器的带宽为 92.98kHz。 根据模拟，直流增益为 18.04dB 或 7.97V/V。

4.3 误差分析

对图表 6 中的原始数据进行进一步分析以计算正负满量程误差，以及差分输出电压的偏移。在 0A 流经负载时，差分输出电压为 $-957.09\mu\text{V}$ 。对于正满量程电流，输出电压为 1.9936V 。对于负满量程电流，输出电压为 -1.9960 。在校正偏移电压后，以下等式被用来计算 %FSR。

$$\begin{aligned} \%FSR(pos) &= 100\% * \frac{Iload(sim) - Iload(ideal)}{Iload(max) - Iload(min)} & (5) \\ &= 100\% * \frac{\left(\frac{Vout}{G}\right) * \left(\frac{1}{0.05\Omega}\right) - Iload(ideal)}{5A - 0A} \\ &= 100\% * \frac{\left(\frac{1.9945}{8}\right) * \left(\frac{1}{0.05\Omega}\right) - 5A}{5A - 0A} = -0.27\% \end{aligned}$$

负满量程误差为 0.25%，这也在最初设计目标以内。

4.4 VDD1 误差

用于隔离放大器上 VDD1 电源的变压器输出电压，使用 SN6501 多变压器 EVM 进行测量。一个单个 AMC1200 仅汲取 8mA 最大电流，这降低了电源的效率和稳压功能要求。使用 SLLU174 文档图表 8 内的曲线，估计施加到 AMC1200 的电压将在 5.3 和 5.4V 之间。这个与 5V 电压的偏差大约比 5V +/-3% 的设计目标大两倍。通过直接测量多变压器 EVM 上的输出，发现 VDD1 电源为 5.37V。

在 5.4V 被施加到 VDD1 时直流传输特性的仿真确实显示出偏移电压的增加，但是总电流测量值保持在 0.27% 水平上。

4.5 结果汇总

表 2 汇总了此设计的仿真和估算性能。

表 3: 设计目标和仿真/测量性能的比较

	目标值	仿真值
偏移电压	$\pm 2\text{mV}$	$-957.09\mu\text{V}$
误差 (%FSR)	$\pm 0.5\%$	-0.27%
	目标值	测得值
VDD1 电源电压	5V	5.37V

5 修改

根据设计过程开始部分列出的设计目标为这个设计选择了器件。将一个低压降稳压器 (LDO) 包含在变压器输出上将提供一个更稳定的 VDD1 电源轨，但是这也造成了与电路板空间、组件数量相关的成本，并且根据设计中需要的电流采样通道数量会需要一个不同的变压器。

在变压器的次级侧添加一个 LDO 将需要电路设计人员将 LDO 保持要求的输出电压所需的最小电压计算在内。以 TPS76350 为例，此稳压器需要 75mV (最大值) 的净空来保持 50mA 负载时的 5V 电压输出。这将为驱动多达 5 个 AMC1200 器件通过足够的电源。

这个设计第二个可能的修改将是用 3.3V 电源替代 5V VDD2 电源。借助于变压器上略大的匝数比，有可能实现 AMC1200 上 VDD1 电源所需的 5V 电压（具有或没有 LDO）。这将由以 1.29V 电压为中心的 AMC1200 提供 $\pm 2V$ 差分输出电压。

6 致谢 & 参考文献

1. 《SN6501 多变压器 EVM 用户指南》(SLLU174)

针对 TI 参考设计的重要声明

德州仪器公司 ("TI") 参考设计只用于帮助设计人员 ("客户") 开发包含 TI 半导体产品的系统 (在这里也指"组件")。客户理解并同意他们对设计客户系统和产品中的独立分析、评估和判断负责。

TI 参考设计已经使用标准实验室条件和工程实践创建。TI 未采取任何测试, 除非那些在已发布文档中针对一个特定参考设计所专门描述的测试。TI 也许会对它的参考设计进行修正、提高、改进和其它改变。

客户被授权使用具有每个特定参考设计中确认的 TI 组件的 TI 参考设计, 并且在他们的终端产品开发中修改参考设计。然而, 在这里不授予任何其它 TI 知识产权的直接或隐含, 默许或其它方式的许可, 和任何第三方技术或知识产权的许可, 其中包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权、或者与采用了 TI 产品或服务的任何集成、机器或工艺相关的知识产权。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

TI 参考设计"按原样"提供。对于参考设计或者包括精度和完整性在内的直接、隐含或者法律规定的参考设计的使用, TI 不作出任何保证或声明。TI 不对任何隐含的适销性、针对特定用途的适用性、平静受益权、无干扰享有权, 以及与 TI 参考设计或其使用相关的任何第三方知识产权的非侵权作出任何保证。TI 不对任何与 TI 参考设计中提供的产品组合相关的或基于这些产品组合的第三方侵权声明负责, 并且不应为客户提供辩护或赔偿。不论是何原因造成任何实际的、特殊的、意外的、相应发生的或间接的损坏, 并且不论 TI 是否已经告知了 TI 参考设计的任何使用或 TI 参考设计的客户使用所造成的此类损坏的可能性, TI 都不应对此负责。

TI 保留根据 JESD46 最新标准, 对所提供的半导体产品和服务进行更正、增强、改进或其它更改的权限, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的 TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

对于 TI 数据手册、数据表或参考设计中的 TI 信息, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。第三方信息可能受到其它限制条件的制约。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在客户的安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。借助于这样的组件, TI 的目标是帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或"增强型塑料"的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的组件。客户认可并同意, 对还未指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 将不承担任何责任。

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 © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

产品	应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio 通信与电信 www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers 计算机及周边 www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters 消费电子 www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com 能源 www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp 工业应用 www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers 医疗电子 www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface 安防应用 www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic 汽车电子 www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power 视频和影像 www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity 德州仪器在线技术支持社区 www.deyisupport.com

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 © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司