

对比双电源分立式和集成式仪表放大器

Peter Semig
Applications Manager

Jacob Nogaj
Applications Engineer

Jerry Madalvanos
Applications Engineer

引言

设计分立式仪表放大器 (IA) 与集成式 IA 的优点和缺点有很多, 而且经常争论不休。需要考虑的一些变量包括印刷电路板 (PCB) 面积、增益范围、性能 (随温度变化) 和成本。本文的目的是比较三种双电源 IA 电路: 使用四路运算放大器 (op amp) 的分立式 IA、具有集成增益设置电阻器 (R_G) 的通用 IA 和带有外部 R_G 的精密 IA。

双电源电路

图 1 是使用德州仪器 (TI) TLV9064 四路运算放大器电路的分立式双电源 IA 的简化原理图。在此电路中, 四个放大器通道中的三个 (A、B 和 C) 作为传统的三运算放大器 IA 连接。基准电压 (V_{REF}) 接地。由于第四个通道 D 没有使用, 因此它作为缓冲器通过一个电阻器连接到 $1/2 V_S$ (接地) 以实现瞬态稳定性。所有标有“R”的电阻值均为 $10k\Omega$; R_G 设置差分增益。差分输入电压为 $V_{IN+} - V_{IN-}$, 输出电压为 V_{OUT} 。一些元件未显示, 例如负载电阻器 ($10k\Omega$) 和去耦电容器。从封装角度绘制所有电路说明了外部分立元件的数量。

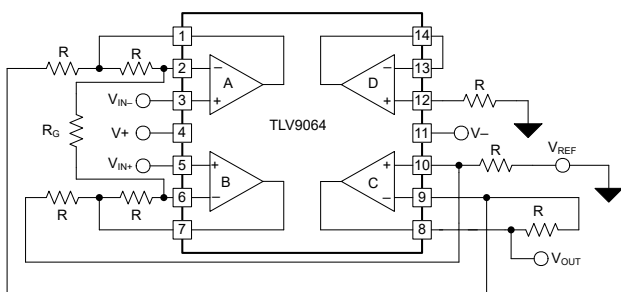


图 1. 使用四路运算放大器的分立式双电源 IA。

方程式 1 提供了该电路的传递函数:

$$V_{OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) \times \left[1 + \frac{20 k\Omega}{R_G} \right] \quad (1)$$

当 PCB 面积和性能次于成本和增益范围时, 设计人员通常会选择分立式 IA。之所以选择 TI 的 **TLV9064IRUCR** 运算放大器进行此次比较, 因为它是一款轨到轨输入/输出器件 (RRIO), 具有宽带宽 (10MHz) 和低典型初始输入失调电压 ($V_{OS(typ)} = 300\mu V$), 并且采用小型封装 (RUC = X2QFN = $4mm^2$)。虽然 RUC/X2QFN 封装中存在较便宜的 RRIO 四路运算放大器, 但它们会影响带宽和典型失调电压。

为了与分立式 IA 的设计优先级保持一致, 安装了价格低廉的 $\pm 1\%$ 容差、 $\pm 100ppm/^\circ C$ 漂移电阻器。这些电阻器不仅初始值不同, 而且可能会随着温度的变化而发生显著漂移。由于 R_G 是外部的, 因此该配置的增益主要受运算放大器的输入失调电压限制。

图 2 是 TI **INA350ABS** 的简化原理图, 这是一款集成了 R_G 的通用双电源 IA。 V_{REF} 接地。该电路集成了 IA 中的所有电阻。差分输入电压为 $V_{IN+} - V_{IN-}$, 输出电压为 V_{OUT} 。一些元件未显示, 例如负载电阻器 ($10k\Omega$) 和去耦电容器。IA 的增益根据连接到引脚 1 的开关进行设置 (开路 = $20V/V$, 闭合 = $10V/V$)。在实际应用中, 开关将不存在。要启用该器件, 请将引脚 8 (SHDN) 连接至 $V+$ 或使其悬空。

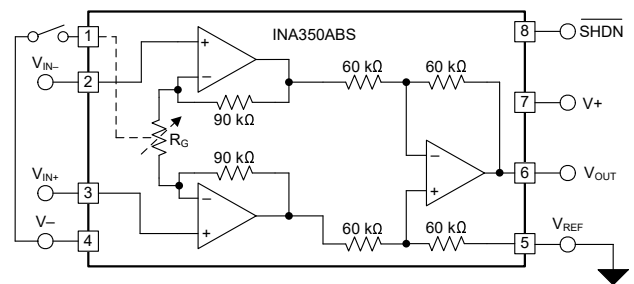


图 2. 具有集成 R_G 的通用双电源 IA。

方程式 2 提供了该电路的传递函数：

$$V_{OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) \times \left[10 \frac{V}{V} \text{ or } 20 \frac{V}{V} \right] \quad (2)$$

当设计人员需要平衡成本、性能和 PCB 面积时，通常会选择此 IA。之所以选择 **INA350ABSIDSGR** IA 进行本次比较，是因为它性价比高、性能高、采用小型封装（主要 DSG = WSON = 4mm²）、可选增益（10V/V 或 20V/V），并且具有低典型输入失调电压 ($V_{OS(typ)} = 200\mu\text{V}$)。此实现无需外部元件。对于需要更高增益的设计，**INA350CDS** 的增益为 30V/V 或 50V/V。

图 3 是具有外部 R_G 的 TI **INA333** 精密双电源 IA 的简化原理图。 V_{REF} 接地。在该电路中，IA 集成了除 R_G 之外的所有电阻。差分输入电压为 $V_{IN+} - V_{IN-}$ ，输出电压为 V_{OUT} 。一些元件未显示，例如负载电阻器 (10k Ω) 和去耦电容器。

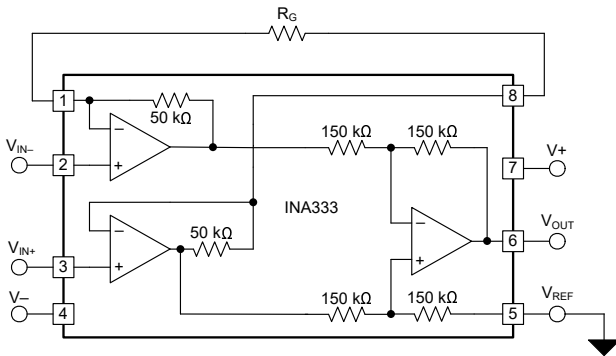


图 3. 具有外部 R_G 的精密双电源 IA。

PCB 布局

一个专门为此比较而设计的 PCB 在一个圆形区域中包含上述三个电路，温度强制单元的喷嘴将安装在该区域上。向每个电路提供相同的输入信号时非常小心，以减轻对“泄漏”的担忧。每个输出均单独布线以确保隔离。

图 4 展示了每个 IA 电路的简化布局，以比较每个解决方案的相对大小，包括去耦电容器。出于比较目的，使用了最小的器件封装，以及 0402 封装中的电阻器和电容器。

方程式 3 提供了该电路的传递函数：

$$V_{OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) \times \left[1 + \frac{100 \text{ k}\Omega}{R_G} \right] \quad (3)$$

当性能具有最高优先级时，设计人员通常会使用精密 IA。之所以选择 **INA333AIDRGR** 精密 IA 进行本次比较，是因为它电压低 (5V)，具有出色的精度 ($G = 1 \text{ V/V}$, $V_{OS(typ)} = 35\mu\text{V}$)，并且采用小型封装 (DRG = WSON = 9mm²)。整个温度范围内的性能取决于所选择的外部 R_G 。因此，为了与主要设计优先事项（性能）保持一致，我们使用了精密 R_G 来提供增益 10V/V ($\pm 0.05\%$, $\pm 10 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$)。由于集成了精密运算放大器，因此该实现具有出色的增益范围（1V/V 至 1,000V/V）。然而，考虑到集成精密运算放大器和所需的精密 R_G ，总体成本通常高于其他两种解决方案。

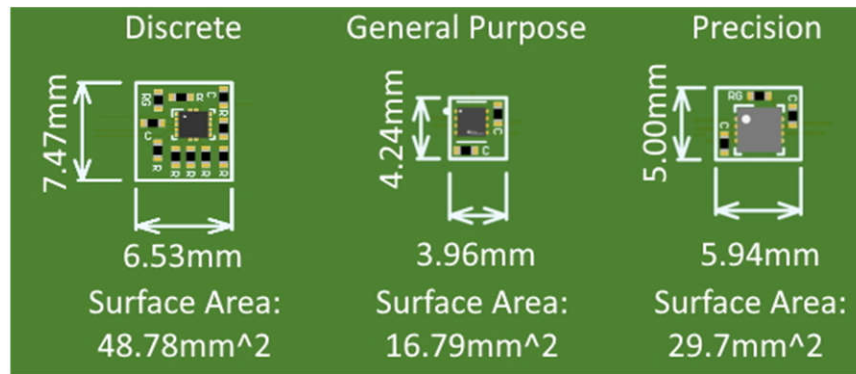


图 4. 双电源 IA 电路的简化 PCB 布局比较。

如您所见，离散 IA 实现明显大于两个集成解决方案。凭借集成的 R_G 和更小的内核尺寸，通用 IA 布局的尺寸几乎是精密 IA 布局的一半。

测量结果

增益和失调电压误差用来衡量每个电路在整个温度范围内的相对性能。作为基线测量，精密双电源 IA 的增益为 $1V/V$ ($R_G =$ 开路)。对于每次扫描，输入信号都会被缩放，以使输出电压范围为 $-2V$ 至 $+2V$ 。

表 1 描述了在整个温度范围内 $G = 1V/V$ 时，精度 IA 的基线增益和失调电压误差。该表包含数据表在 $25^\circ C$ 时的典型增益和失调电压误差值，以验证测量系统。

温度	$-40^\circ C$		$0^\circ C$		$25^\circ C$		$100^\circ C$		$125^\circ C$	
	增益	偏移	增益	偏移	增益	偏移	增益	偏移	增益	偏移
测量值 (典型数据表)	0.00270%	$10.1\mu V$	0.00019%	$9.1\mu V$	-0.00281% ($\pm 0.01\%$)	$7.5\mu V$ ($\pm 35\mu V$)	-0.00523%	$23.5\mu V$	-0.00572%	$31.2\mu V$

表 1. 精密 IA 增益和失调电压误差与温度间的关系 ($G = 1V/V$)。

表 2 描述了在整个温度范围内增益为 10V/V 时，所有 IA 的增益和失调电压误差（参考了输出 [RTO]）。绿色阴影表示每个温度下性能最高的实现。

温度	-40°C		0°C		25°C		100°C		125°C	
错误类型	增益	偏移	增益	偏移	增益	偏移	增益	偏移	增益	偏移
分立式 IA	-0.60853%	-4.09 mV	-0.70079%	-3.67 mV	-0.73929%	-4.07 mV	-0.90846%	-4.07 mV	-0.95486%	-3.69 mV
通用 IA	-0.02532%	2.07 mV	-0.03182%	2.05 mV	-0.00250%	2.04 mV	0.00876%	2.12 mV	-0.00970%	2.21 mV
精密 IA	0.17320%	-58.8μV	0.08103%	-43.2μV	0.02941%	-35.2μV	-0.06125%	-2.2μV	-0.07883%	33.8μV

表 2. 增益和失调电压误差 (RTO) 与温度的关系 (增益 = 10V/V)。

表 1 和 **表 2** 显示，从性能的角度来看，如果没有外部 R_G ，精密的双电源 IA 优于所有其他解决方案。从增益误差的角度来看，通用和精密 IA 解决方案相当。这主要是因为 $G = 10V/V$ 精密 IA 实现需要外部 R_G ，而通用解决方案集成了 R_G 。在查看失调电压误差时，精密 IA 解决方案显然是最准确的，而通用失调电压误差约为离散解决方案的一半。总体而言，与两种集成解决方案相比，分立式 IA 的性能明显较差。

结论

虽然许多设计人员通常在低成本应用中实施分立式解决方案，但新的通用 IA（例如，TI 的 **INA350**）可能会产生更低的总体成本和更好的性能。根据增益的不同，精密 IA（如 **INA333**）可以提供卓越的性能和增益范围，尽管外部 R_G 是重要的性能因素，尤其是在整个温度范围内。

表 3 对比较结果进行了总结。

	PCB 面积	增益范围	性能	成本
分立式 IA	48.78mm ²	1V/V 至 100V/V	好	\$\$
通用 IA	16.79mm ²	10V/V、20V/V、30V/V、50V/V	较好	\$
精密 IA	29.7mm ²	1V/V 至 1,000V/V	最好	\$\$\$\$

表 3. 双电源 IA 电路解决方案比较。

下次设计双电源 IA 时，请考虑本文概述的权衡取舍。对于需要最高精度的应用，精密 IA 是必然的选择。对于需要经济高效的性能的应用，选择不再像构建分立式 IA 那么简单。新的通用 IA 可以提供比分立式解决方案明显更好的性能，同时占用更少的 PCB 面积并降低系统成本。

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

所有商标均为其各自所有者的财产。

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