

Product Overview

采用替代 IA 拓扑提高信号链性能



仪表放大器 (IA) 是精密信号链的核心组件, 其设计初衷是在存在大共模电压的情况下提取小差分信号。应用最广泛的 IA 拓扑是三放大器架构, 该架构可在较高增益下提供高输入阻抗、出色的增益精度和高共模抑制比 (CMRR)。但是, 三放大器拓扑也存在一些局限, 例如  $V_{CM}$  与  $V_{OUT}$  之间的关系较为复杂 (通常以“边界图”呈现)、在低增益时 CMRR 下降、对基准引脚阻抗的敏感度, 以及相对较高的成本。

ICFB 架构与主要优势

为了克服这些限制, 间接电流反馈 (ICFB) 拓扑等替代架构纷纷出现。基于 ICFB 的 IA (如 INA630) 使用两个匹配的跨导 ( $g_m$ ) 级和一个高增益放大器, 将三放大器设计的两个输入放大器替换为电流模式环路。

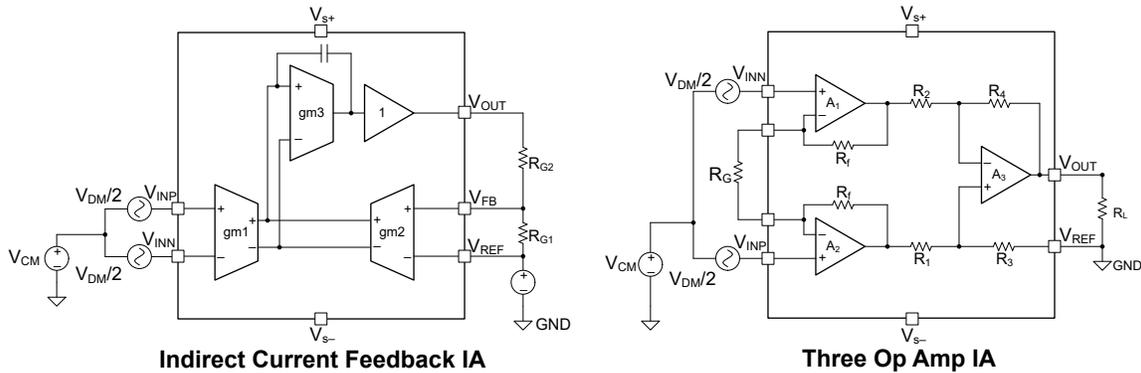


图 1. ICFB 和三放大器 IA 方框图

与三放大器 IA 相比, 这种架构提供了一组独特的性能优势, 包括能够在所有增益设置下保持一致的较高 CMRR。虽然三放大器 IA 通常在较高的增益下实现高 CMRR, 但即使在较低的增益下, ICFB IA 也能保持高 CMRR。例如, 图 2 显示与 3A 放大器 IA 相比, INA630 在低增益设置和高增益设置下, 其 CMRR 在整个频率范围内都能保持一致。

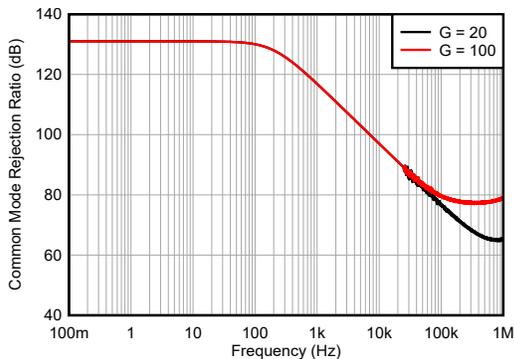


图 2. INA630 (ICFB) : CMRR 与频率间的关系 (RTI)

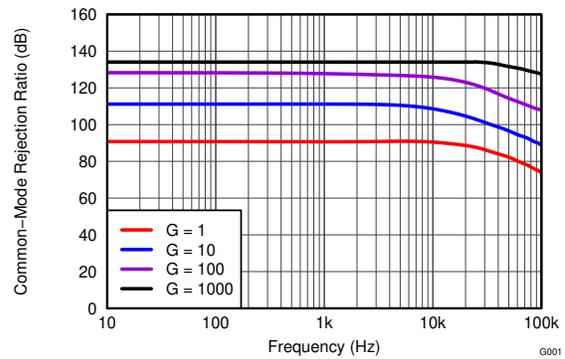


图 3. 三放大器 IA : CMRR 与频率间的关系 (RTI)

在传统的三放大器 IA 拓扑中,  $V_{CM}$  与  $V_{OUT}$  的关系, 或“边界图”, 取决于电源电压、 $V_{CM}$ 、REF 和增益。由于边界图仅取决于电源电压, 因此 ICFB IA 的这种关系得到了简化。

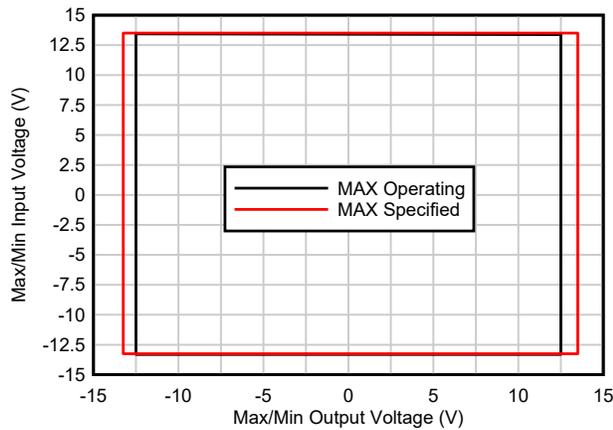


图 4. INA630 : 输入电压与输出电压间的关系 ( 双电源  $V_S = \pm 15V$  )

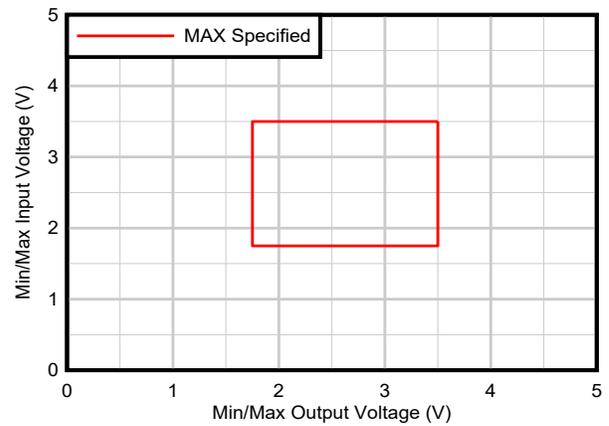


图 5. INA630 : 输入电压与输出电压间的关系 ( 双电源  $V_S = 5V$  )

ICFB IA 还具有一个高阻抗基准引脚，该引脚可承受阻抗不匹配的情况，否则阻抗不匹配会降低三放大器 IA 架构中的 CMRR。此外，它不需要单独的放大器来驱动该引脚。另外，虽然三放大器 IA 需要精确调整的内部电阻器来获得精确的增益，但 ICFB 通过分立式外部电阻器 ( $R_{G1}$  和  $R_{G2}$ ) 来设置增益。由于增益由外部网络的匹配度决定，因此 ICFB 架构可提供更低的增益漂移、更低的功耗，并允许更小的裸片面积，从而降低总体成本。

这些因素使得基于 ICFB 的仪表放大器 ( 如 INA630 ) 特别适合成本优化的高精度系统，可在增益设置范围内实现更一致的行为，并简化输入和输出范围注意事项。请参阅表 1，详细了解不同 IA 拓扑在主要规格下的表现。

#### 架构比较：三放大器与 ICFB 的比较

表 1. 仪表放大器主要规格比较

主要规格	三运算放大器 (VFB/CFB) IA	ICFB IA ( 例如, INA630 )
反馈机制	使用三放大器的电压和电流模式反馈	使用 2 个跨导 ( $g_m$ ) 级 + 放大器的间接电流反馈
CMRR	通常取决于增益，在低增益时会更差	在所有增益下较高且恒定
输入共模范围	取决于电源电压、VCM、REF 和增益	仅取决于电源电压
输入阻抗	高	高
基准引脚阻抗	较低并可能降低 CMRR	高
增益配置	1 个用于可编程增益的外部或内部电阻器网络	2 个外部电阻器
增益漂移	由于内部电阻器匹配，增益漂移将保持低电平	取决于外部电阻器
输入差分电压	可适应更高的差分电压	可能会限制为较低的差分电压
功耗	中高程度，取决于放大器	低
裸片面积/成本	更大的裸片，尤其是采用内部电阻器网络的裸片 ( 可编程增益 )	更小的裸片，具有成本效益

#### 使用外部电阻器管理增益精度

乍一看，像 INA630 这类 ICFB IA 似乎比传统的三放大器 IA 产生更多的增益漂移，因为 ICFB IA 使用了两个分立式外部增益电阻器，而传统架构仅使用一个。关键区别不是使用了多少电阻器，而是不同架构处理信号路径的方式。

在三放大器 IA 中，增益由单个分立式外部电阻器设置，但该电阻器与 IC 内部的集成电阻器对一起工作。集成电阻器可由一种材料和工艺流程制成，而分立式外部电阻器可能具有不同的材料和制造流程。随着温度的变化，无

法保证内部和外部电阻器以相同的速率漂移。除了器件固有的增益误差之外，这种温度漂移的不匹配还会导致随温度变化的增益误差。

ICFB IA 采用不同的方法，其增益通过两个外部电阻器 ( $R_{G1}$  和  $R_{G2}$ ) 来设置，这两个电阻器能对称地设定流经内部匹配电流镜的电流。使用匹配的电阻器来设置增益的效果非常显著，因为这些器件在同一封装中提供两个电阻器，它们具有紧密匹配的温度系数，通常在几 ppm/°C 以内。与 INA630 配合使用时，仅需简单的布局设计就能实现出色的增益精度。

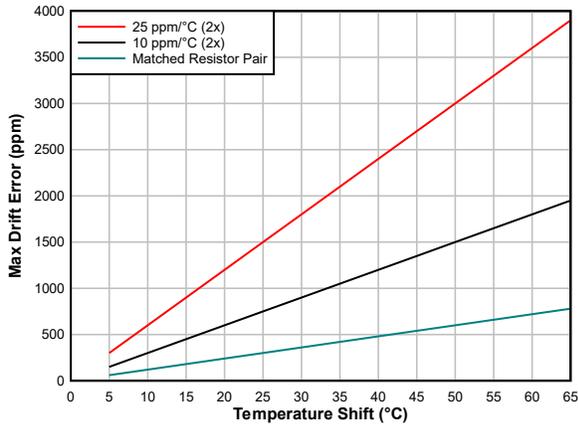


图 6. INA630 : 最大漂移误差 (ppm) 与温度变化 (°C) 间的关系

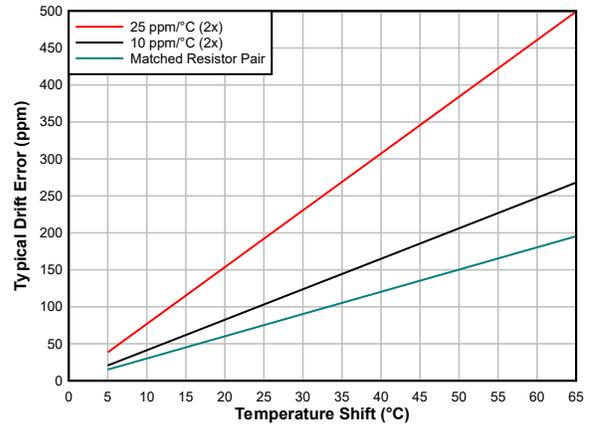


图 7. INA630 : 典型漂移误差 (ppm) 与温度变化 (°C) 间的关系

图 6 和 图 7 说明了电阻器选择对温度范围内增益稳定性的影响。用于设置增益的外部电阻器的温度系数和匹配情况会直接影响 ICFB 架构中的增益漂移性能。虽然 ICFB IA 内部设计能保持对称性和稳定性，但整个温度范围内的总增益误差取决于两个外部电阻器的跟踪紧密度。例如，使用两个标准 25ppm/°C 电阻器可在整个温升过程中产生更明显的漂移，而升级到 10ppm/°C 电阻器可改善这种漂移。通过在单个封装中使用匹配的电阻器对，可实现出色性能，因为该方法可提供更好的热跟踪并显著降低增益漂移。但是，对于这种精度水平要求不高的应用，可以使用成本较低的电阻器。

详细了解 INA630 ICFB 架构如何帮助您在整个温度范围内以更低的漂移和可靠的性能实现精密增益控制，并使用以下内容开始评估：

#### 了解更多

- [常见问题解答] [INA630 : 差分反馈的优势](#)
- [INA630 数据表](#)

#### 评估该设计

- 利用 [TINA-TI](#) 或 [PSPICE for TI](#) 中提供的现有仿真模型
- [INA630 评估模块](#)

如需其他帮助，请访问 [TI E2E™ 放大器支持论坛](#) 来向 TI 工程师提问。

## 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