

Product Overview

用于 GEO 和 LEO 平台的电压和高侧电流检测的 $\pm 150V$ 共模差分放大器



数十年来，由于缺乏实用的集成替代方案，航空航天和国防工程师一直依赖于分立式元件设计来实现耐辐射设计。INA1H94-SP 和 INA1H94-SEP 有助于弥合工程师面临的空白，为工程师创建适用于 GEO 和 LEO 系统的可靠耐辐射设计（例如**电池管理系统**），同时缩减重量和物料清单 (BOM) 尺寸并提高精度。

航天市场的更高电压趋势

随着航天行业大力推进太空旅行商业化，每天都有越来越多的飞行器被发射进入太空。这些太空飞行器（包括卫星、巡视器与探测器）都配备了太阳能供电电池。电池组使用了多种类型的电池拓扑；在考虑要实现哪种电池技术时，工程师必须评估不同的性能规格，例如能量密度、续航时间和自放电率。这些规格都很关键，因为监控每个单独电池电芯的电压对于告知电池的运行状况至关重要。最常见的电池组拓扑锂离子电池由多个串联的 3.6V 市售现成电池 (COTS) 组成，电压范围为 28V 至 120V。由于推动实现更长的航天任务持续时间并减轻了航天器的发射重量，因此出现了更高电压电池组的新兴趋势。此外，总线电压的这种增加需要使用耐辐射器件，在电机控制系统的直列式电流检测等应用中，该器件可以接收高达 120V 的输入（并具有额外裕度）。

为什么要使用集成式差分放大器？

集成式差分放大器为设计人员提供了探索卓越电压和电流检测方法的机会，与分立式方案相比，其性能优势较高。集成式差分放大器可提供更高的精度和精度，无需昂贵的高容差电阻器（容差通常小于 $\pm 0.1\%$ ）。除了精度之外，差分放大器本身就能够将共模电压范围扩展到放大器电源轨之外，同时保持出色的共模抑制比 (CMRR)，而在不进行严格匹配的情况下，使用分立式电阻器难以实现这一目标。下面的表 1 比较了 INA1H94-SP、INA1H94-SEP 和分立式差分放大器之间的关键参数。

表 1. 集成式与分立式 - 电气性能比较

	INA1H94-SP	INA1H94-SEP	使用 0.1% 电阻器的分立式单位增益差分放大器
共模电压	$\pm 150V$		(V-) 至 (V+) - 1.5V
共模抑制比 (最小值)	84dB		约 54dB
电阻器漂移 (ppm/°C) (最大值)	10		约 100
增益漂移 (最大值)	0.047%	0.067%	>1%

使用集成式差分放大器缩小尺寸、减轻重量和减少元件数量

只要能实现减重，发射成本就能相应降低。面向抗辐射系统的传统放大器设计，无论任务类型如何，长期以来都受限于必须采用陶瓷封装，而这类封装普遍又大又重。这款全新的集成式差分放大器系列分别采用陶瓷和增强型航天塑料制成，可用于 GEO 和 LEO 任务，有助于减轻现有系统的重量。图 1 比较了 SOIC-8 增强型航天塑料封装 (INA1H94-SEP)、密封 HKX-8 封装 (INA1H94-SP) 和采用陶瓷 CDIP-14 封装 (LM124AQLM-SP) 的四通道放大器的尺寸。

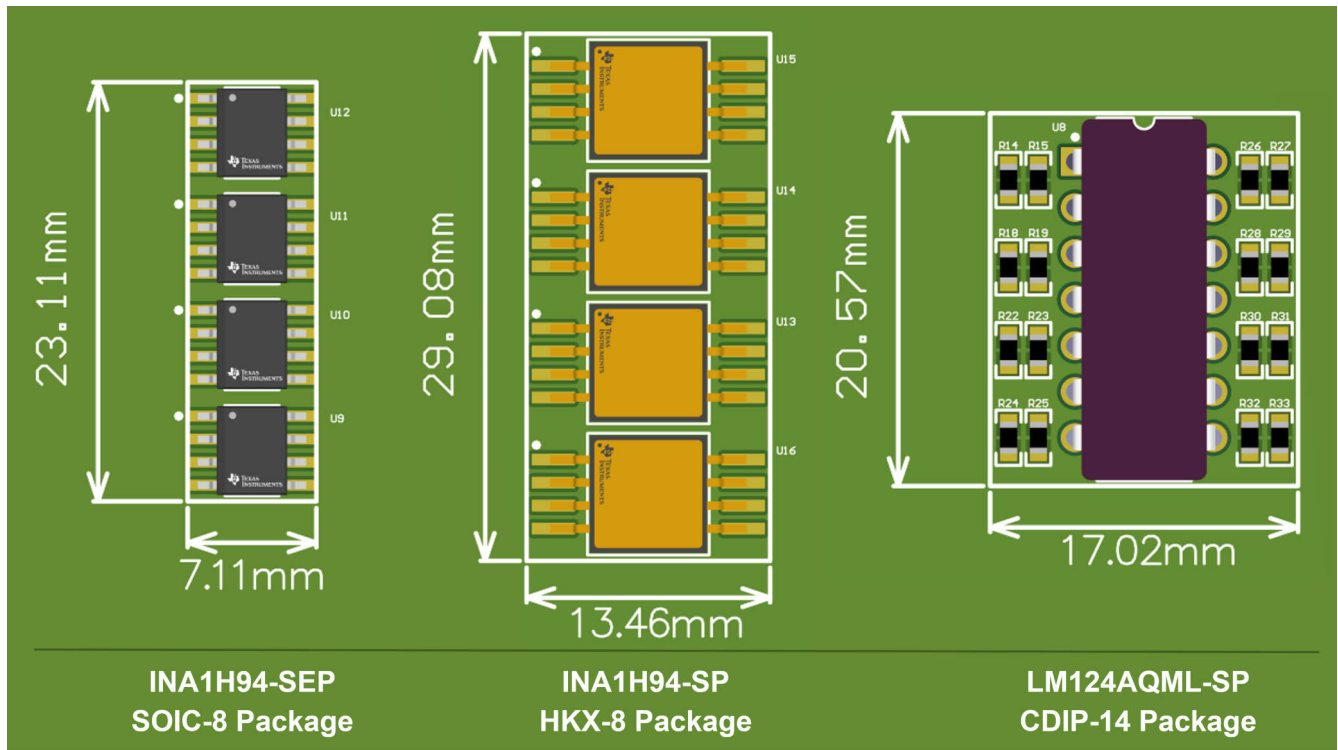


图 1. INA1H94-SEP、INA1H94-SP 与 LM124AQML-SP 的尺寸比较

表 2 在传统的四通道放大器设计与用于 GEO 和 LEO 任务的四个 INA1H94 (-SP 和 -SEP) 器件 (提供等效四通道监测能力) 之间, 对尺寸、重量和 BOM 进行了公平比较。尽管使用了四个单独的器件, 集成式差分放大器设计在尺寸、重量和 BOM 方面均具有显著的优势。

表 2. 集成式与分立式 - 尺寸、重量和 BOM 比较

	INA1H94-SEP	INA1H94-SP	放大器 + 0603 电阻器
封装外形	SOIC-8	HKX-8	CDIP-14
尺寸 (mm ²)	164.3*	391.4*	约 350
质量 (mg)	370*	1,700*	4,850
元件数	4	4	20+

串行电池组电压监控

为了监测电池组的运行状况, 可以使用 INA1H94-SP 或 INA1H94-SEP 对每个单独的 COTS 电池进行电压检测。通常, 工程师要么使用分压器, 要么创建分立式差分放大器设计。这些实施方式都附带一系列独特的挑战。

使用单个分压器来监测电池的正极端子时, 只会显示该特定节点的电压输出, 但不提供有关电池电压的信息, 因为基准未知。通过使用差分放大器, 可以准确地确定每个电池的电压; 然而, 如前所述, 分立式实施方案中的不匹配会降低 CMRR 性能。图 2 展示了将 INA1H94-SP 用于对 33.6V 电池组进行串行电池电压监控。

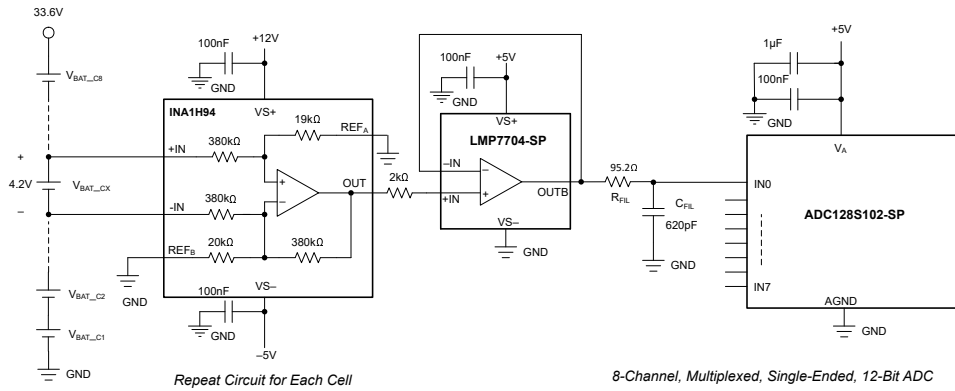


图 2. 通过 INA1H94-SP 进行单节电池电压监控

对于 48V 及更高电压的电池组，分立式设计通常需要具有隔离功能的器件，以保护运算放大器的输入免受高共模电压的影响。INA1H94-SP 和 INA1H94-SEP 的 $\pm 150V$ 共模电压范围允许直接连接到电池组内的任何电芯，而无需额外的隔离电路。在分立式设计中，各电阻的误差会叠加累积，进而增大整体增益误差与温漂。在使用容差为 1% 的典型电阻器时，与具有匹配薄膜电阻器网络的集成设计相比，分立式差分放大器实现方案可能会降低精度。

高侧电流检测

INA1H94-SP 同样适用于高侧电流检测场景，可监测负载对地短路故障；随着系统逐步向 120V 总线电压架构发展，该器件具备 $\pm 150V$ 的宽共模输入电压范围，适配性极强。由于 INA1H94-SP 具有 1 的差分增益，因此建议在小型检测电阻器上进行检测时使用 OPA4H199-SP 等运算放大器。这种方法可以在将输出扩展到模数转换器 (ADC) (如 ADC128S102QML-SP) 满量程范围的同时极大地降低功耗，如图 3 所示。

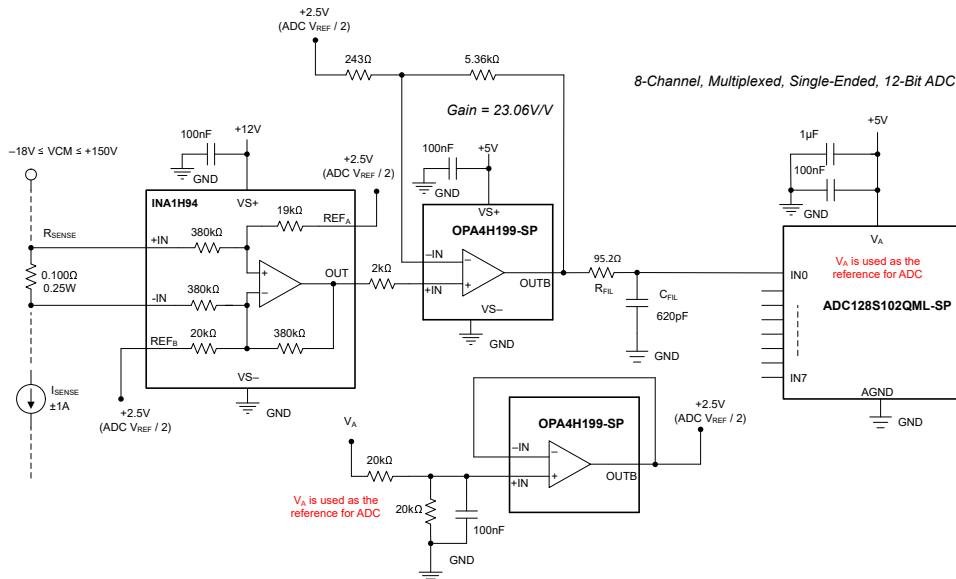


图 3. 通过 INA1H94-SP/-SEP 在单极电源下进行高侧电流检测

在图 3 的电路示例中，INA1H94 由 +12V (VS+) 和 GND (VS-) 的单极电源供电。为了留出余量，差分放大器基准电压设置为高于 GND，其中 REF_A 和 REF_B 引脚设置为 ADC 的 1/2 V_s (2.5V)。OPA4H199-SP 采用非反相增益配置，支持约为 23.05V/V 的增益，运算放大器的增益电阻网络同样以 2.5V (ADC 中点电压) 为参考基准。此电路在差分放大器的输入端支持 +150V 至 -18V 的共模电压范围，100mΩ 分流电阻器上支持 $\pm 100mV$ 的输入差分电压。得到的值允许监测检测电阻上 $\pm 1A$ 的电流。

对于需要更宽共模电压的系统，请使用双极电源来扩展负共模电压，如图 4 所示。

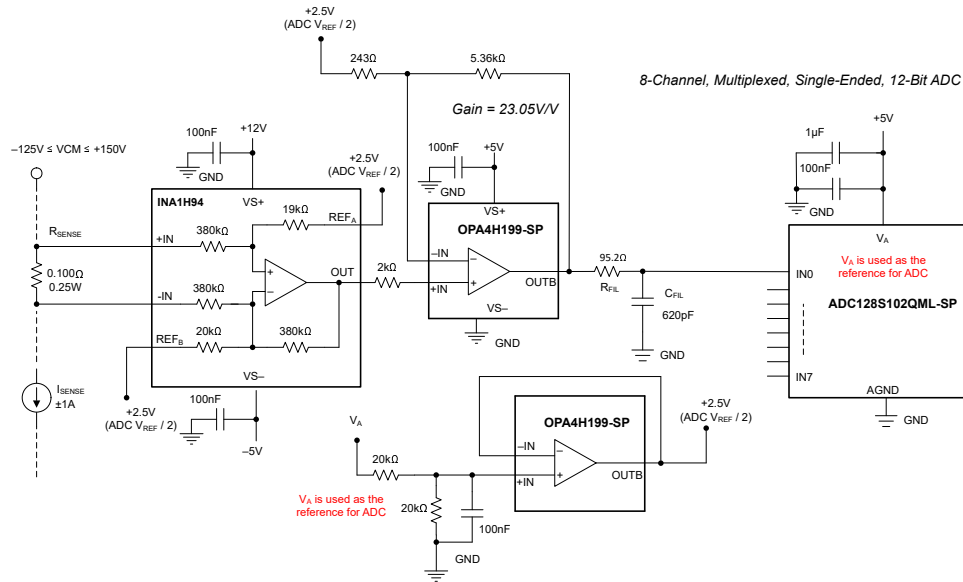


图 4. 通过 INA1H94-SP/-SEP 双极电源进行高侧电流检测

INA1H94-SP/-SEP 是一个差分放大器，其中输入共模电压范围、差分输入电压范围和线性输出电压范围是正 (V+) 和负 (VS-) 电压电源以及基准电势 REF_A 和 REF_B 的函数。要使用符合您系统要求的其他元件值进行验证和仿真，请参阅 [INA1H94-SP/-SEP 差分放大器输入/输出范围查询器工具](#)，以验证器件的输入共模范围。

表 3 显示了添加负电源轨如何将 INA1H94 的共模电压大幅扩展至 -140V。

	单极电源	双极电源
电源电压	VS+ = +12V、VS- = GND	VS+ = +12V、VS- = -5V
基准电压	$REF_A = REF_B = 2.5$	$REF_A = REF_B = 2.5$
共模范围	$-18V < V_{CM} < +150V$	$-140V < V_{CM} < +150V$
差分输入范围	$\pm 100mV$	$\pm 100mV$
分流电阻	100mΩ	100mΩ
输入电流范围	$\pm 1A$	$\pm 1A$
OPA4H199 输出	$+0.194 < V_O < 4.806V$	$+0.194 < V_O < 4.806V$

了解更多

- 德州仪器 (TI)，[耐辐射电池管理系统参考设计](#)
- 德州仪器 (TI)，[使用精密匹配电阻分压器对优化差分放大器电路中的 CMRR 应用手册](#)

EVM、工具和样片订单信息

- 通过 [TI.com](#) 上提供的工程模型 (INA1H94HKX/EM) 测试 INA1H94-SP 的性能！
- [INA1H94-SP/-SEP 输入/输出电压范围查找器工具](#)
- [INA1H94-SP 数据表](#)
- [INA1H94-SEP 数据表](#)
- [INA1H94-SP 评估模块](#)
- 《[INA1H94-SP 评估模块用户指南](#)》

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月