

INA950-SEP 2.7V 至 80V 1.1MHz 超精密电流检测放大器

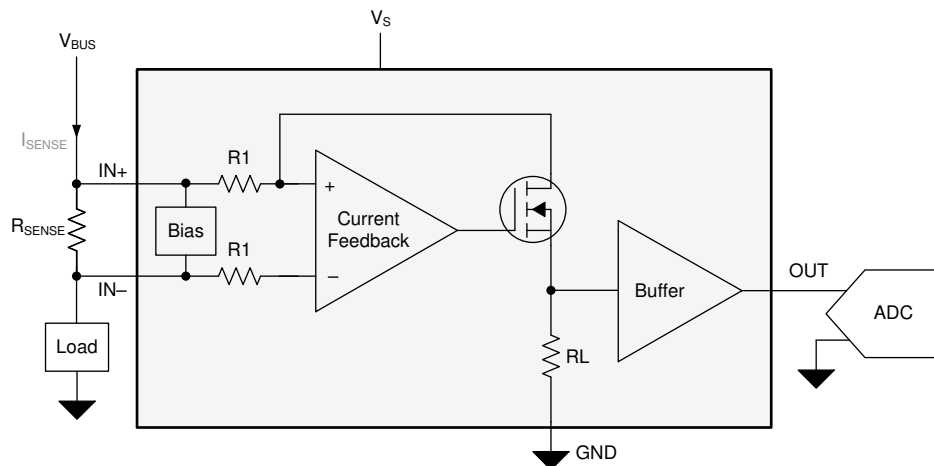
1 特性

- VID V62/25635
- 辐射 - 总电离剂量 (TID) :
 - TID 性能保证高达 30krad (Si)
 - 每个晶圆批次的辐射批次验收测试 (RLAT) 高达 30krad (Si)
- 辐射 - 单粒子效应 (SEE) :
 - 在 125°C 下, 单粒子锁定 (SEL) 抗扰度最高可达 43MeV-cm²/mg
 - 单粒子瞬变 (SET) 额定值最高可达 LET = 47.5MeV-cm²/mg
- 增强型航天塑料
 - 工作温度范围为 -55°C 至 +125°C
 - 受控基线
 - Au 键合线和 NiPdAu 铅涂层
 - 根据 ASTM E595 进行了释气测试
 - 一个制造、封装和测试基地
 - 延长了产品生命周期
 - 产品可追溯性
- 宽共模电压 :

- 工作电压 : 2.7V 至 80V
- 可承受电压 : -20V 至 85V
- 出色的共模抑制比 (CMRR) :
 - 160dB 的信噪比 (DC)
 - 85dB 交流 (50kHz 时)
- 增益为 20V/V
 - 增益误差 : ±0.1% (最大值)
 - 增益漂移 : ±1.5ppm/°C
- 失调电压 : ±12μV (最大值)
- 温漂 : ±0.05μV/°C
- 高带宽 : 1.1MHz
- 压摆率 : 2V/μs
- 静态电流 : 370μA

2 应用

- [卫星电力系统 \(EPS\)](#)
- [命令和数据处理 \(C&DH\)](#)
- [雷达成像有效载荷](#)
- [通信有效载荷](#)



典型应用



3 说明

INA950-SEP 是一款超精密电流检测放大器，能够在 2.7V 至 80V 的宽共模范围内测量分流电阻器上的压降。得益于自身 $\pm 12\mu\text{V}$ (最大值) 的超低失调电压、 $\pm 0.1\%$ (最大值) 的小增益误差以及 160dB (典型值) 的高直流 CMRR 特性的综合作用，该器件能够实现超高精度的电流测量。INA950-SEP 不仅适用于直流电流测量，还适用于高速应用 (例如：快速过流保护)，具有 1.1MHz 的高带宽与 85dB 的交流 CMRR (50kHz 时)。

INA950-SEP 能够在 2.7V 至 80V 的宽共模范围内，通过测量分流电阻器上的压降，提供进行超精密电流测量的功能。INA950-SEP 采用 TSSOP-8 封装。

INA950-SEP 采用 2.7V 至 5.5V 的单电源供电，电源电流仅为 $370\mu\text{A}$ (典型值)。借助零漂移架构的低失调电压，能够在工作温度范围 (-55°C 至 125°C) 内使用低欧姆值分流器进行电流检测。

封装信息

器件型号	封装 ⁽¹⁾	封装尺寸 ⁽²⁾
INA950-SEP	PW (TSSOP, 8)	3.00mm × 4.4mm

(1) 封装尺寸 (长 × 宽) 为标称值，并包括引脚 (如适用)。

(2) 有关更多信息，请参阅 [节 10](#)。

内容

1 特性	1	7.1 应用信息.....	15
2 应用	1	7.2 典型应用.....	17
3 说明	2	7.3 电源相关建议.....	18
4 引脚配置和功能	4	7.4 布局.....	19
5 规格	5	8 器件和文档支持	20
5.1 绝对最大额定值.....	5	8.1 文档支持.....	20
5.2 ESD 等级.....	5	8.2 接收文档更新通知.....	20
5.3 建议运行条件.....	5	8.3 支持资源.....	20
5.4 热性能信息.....	5	8.4 商标.....	20
5.5 电气特性.....	6	8.5 静电放电警告.....	20
5.6 典型特性.....	7	8.6 术语表.....	20
6 详细说明	11	9 修订历史记录	20
6.1 概述.....	11	10 机械、封装和可订购信息	20
6.2 功能方框图.....	11	10.1 机械数据.....	21
6.3 特性说明.....	12	封装信息.....	24
6.4 器件功能模式.....	14	10.2 卷带包装信息.....	25
7 应用和实施	15		

4 引脚配置和功能

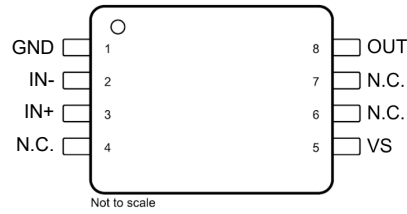


图 4-1. INA950-SEP : PW 封装 8 引脚 TSSOP 顶视图

表 4-1. 引脚功能 : INA950-SEP

引脚		类型	说明
名称	编号		
GND	1	接地	接地
IN -	2	输入	连接到分流电阻器负载侧
IN+	3	输入	连接到分流电阻器电源侧
N.C.	4,6,7	-	无内部连接。
OUT	8	输出	输出电压
VS	5	电源	电源

5 规格

5.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明) ⁽¹⁾

		最小值	最大值	单位
V_s	电源电压	-0.3	6	V
V_{IN+} 、 V_{IN-} ⁽²⁾	模拟输入, 差分 (V_{IN+}) - (V_{IN-})	-30	30	V
	模拟输入, 共模 (V_{IN+} or V_{IN-})	-20	90	
V_{OUTx}	模拟输出, 输出电压	GND - 0.3	$V_s + 0.3$	V
T_A	工作温度	-55	150	°C
T_J	结温		150	°C
T_{stg}	贮存温度	-65	150	°C

- (1) 超出“绝对最大额定值”运行可能会对器件造成永久损坏。绝对最大额定值并不表示器件在这些条件下或在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出建议运行条件但在绝对最大额定值范围内使用, 器件可能不会完全正常运行, 这可能影响器件的可靠性、功能和性能, 并缩短器件寿命
- (2) V_{IN+} 和 V_{IN-} 分别为 V_{IN+} 和 V_{IN-} 引脚上的电压。

5.2 ESD 等级

			值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM), 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准, 所有引脚 ⁽¹⁾	±2000	V
		充电器件模型 (CDM), 符合 JEDEC 规范 JESD22-C101, 所有引脚 ⁽²⁾	±1000	

- (1) JEDEC 文档 JEP155 指出: 500V HBM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。
- (2) JEDEC 文档 JEP157 指出: 250V CDM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

5.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明)

		最小值	标称值	最大值	单位
V_{CM}	共模输入范围 ⁽¹⁾	V_s	48	80	V
V_s	工作电源电压范围	2.7		5.5	V
T_A	环境温度	-55		125	°C

- (1) 特定条件下, 共模电压可以低于 V_s 。参阅“最小共模电压与电源之间的关系”或有关工作范围的其他信息。

5.4 热性能信息

	热指标 ⁽¹⁾	INA950-SEP		单位
		PW (TSSOP)		
		8 引脚		
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	161.8		°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳 (顶部) 热阻	70.5		°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	100.8		°C/W
Ψ_{JT}	结至顶部特征参数	10.4		°C/W
Ψ_{JB}	结至电路板特征参数	99.3		°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳 (底部) 热阻	不适用		°C/W

- (1) 有关新旧热指标的更多信息, 请参阅 [半导体和 IC 封装热指标应用手册](#)。

5.5 电气特性

在 $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = 5\text{V}$, $V_{\text{SENSE}} = V_{\text{IN}+} - V_{\text{IN}-} = 0.5\text{V}/\text{增益}$, $V_{\text{CM}} = V_{\text{IN}-} = 48\text{V}$ 时测得 (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入						
CMRR	共模抑制比	$V_{\text{CM}} = 2.7\text{V}$ 至 80V , $T_A = -55^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$	140	160		dB
		$f = 50\text{kHz}$		85		
V_{os}	失调电压, 以输入为基准			± 6	± 25	μV
dV_{os}/dT	失调电压温漂	$T_A = -55^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$		± 0.05		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
PSRR	电源抑制比, 以输入为基准	$V_S = 2.7\text{V}$ 至 5.5V , $T_A = -55^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$		± 0.05	± 0.5	$\mu\text{V}/\text{V}$
I_B	输入偏置电流	I_{B+} , $V_{\text{SENSE}} = 0\text{mV}$, $V_{\text{CM}} = 80\text{V}$, $T_A = -55^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$	10	20	30	μA
		I_{B-} , $V_{\text{SENSE}} = 0\text{mV}$, $V_{\text{CM}} = 80\text{V}$, $T_A = -55^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$	10	20	30	μA
输出						
G	增益			20		V/V
	增益误差	$\text{GND} + 50\text{mV} \leq V_{\text{OUT}} \leq V_S - 200\text{mV}$		± 0.02	± 0.1	%
	增益误差漂移	$T_A = -55^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$		± 1.5		ppm/ $^\circ\text{C}$
	非线性误差			0.01		%
	最大容性负载	无持续振荡, 无隔离电阻器		500		pF
电压输出						
	相对于 V_S 电源轨的摆幅	$R_{\text{LOAD}} = 10\text{k}\Omega$, $T_A = -55^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$		$V_S - 0.07$	$V_S - 0.2$	V
	对地摆幅	$R_{\text{LOAD}} = 10\text{k}\Omega$, $V_{\text{SENSE}} = 0\text{V}$, $T_A = -55^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$		0.005	0.025	V
频率响应						
BW	带宽	$C_{\text{LOAD}} = 5\text{pF}$, $V_{\text{SENSE}} = 200\text{mV}$		1100		kHz
SR	压摆率			2		V/ μs
	稳定时间	$V_{\text{OUT}} = 4\text{V} \pm 0.1\text{V}$ 阶跃, 输出稳定至 0.5%		9		μs
		$V_{\text{OUT}} = 4\text{V} \pm 0.1\text{V}$ 阶跃, 输出稳定至 1%		5		
噪声						
V_{e_n}	电压噪声密度			50		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
电源						
V_S	电源电压	$T_A = -55^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$	2.7		5.5	V
I_Q	静态电流			370	500	μA
		$T_A = -55^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$			600	

5.6 典型特性

所有规格的适用条件为： $T_A = 25^\circ\text{C}$ ， $V_S = 5\text{V}$ ， $V_{\text{SENSE}} = V_{\text{IN}+} - V_{\text{IN}-} = 0.5\text{V}/\text{增益}$ ， $V_{\text{CM}} = V_{\text{IN}-} = 48\text{V}$ （除非另有说明）。

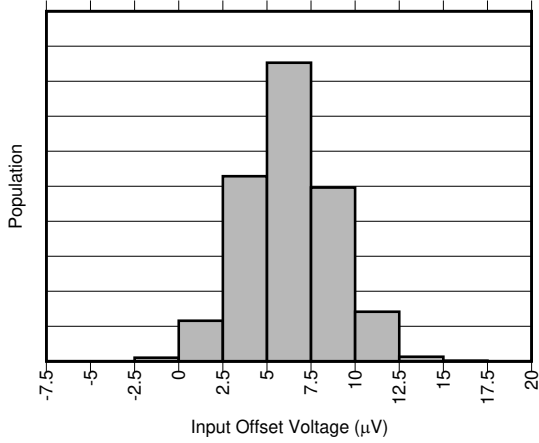


图 5-1. 输入失调电压产生分布图

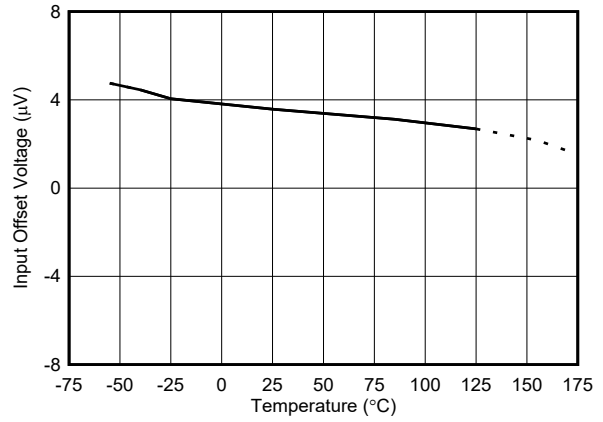


图 5-2. 输入失调电压与温度之间的关系

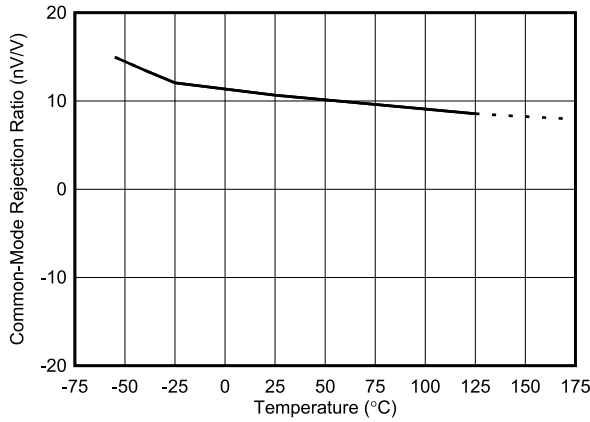


图 5-3. 共模抑制比与温度之间的关系

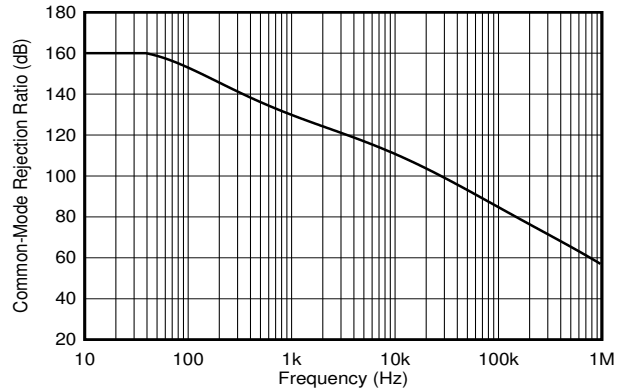
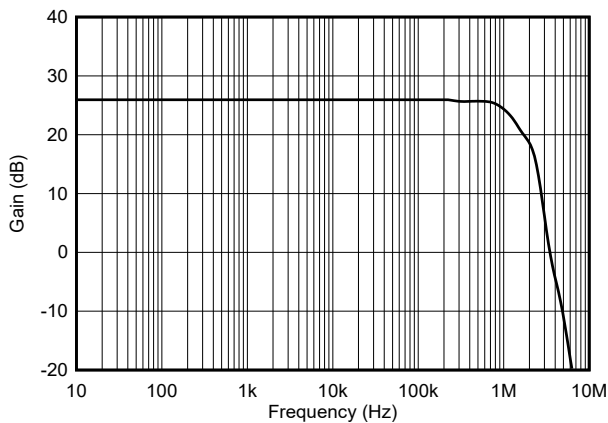


图 5-4. 共模抑制比与频率之间的关系



$V_{\text{SENSE}} = 4\text{V} / \text{增益}$

图 5-5. 增益与频率之间的关系

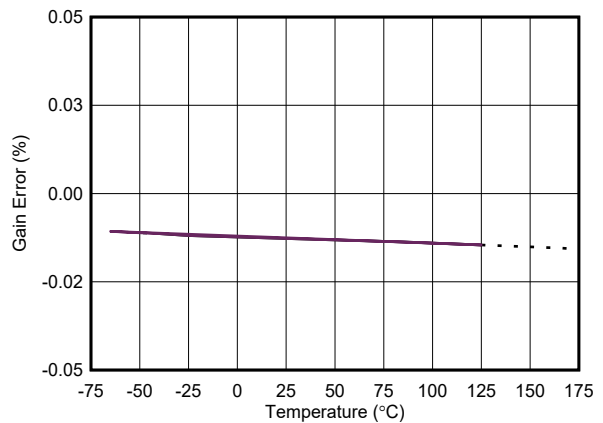


图 5-6. 增益误差与温度之间的关系

5.6 典型特性 (续)

所有规格的适用条件为： $T_A = 25^\circ\text{C}$ ， $V_S = 5\text{V}$ ， $V_{\text{SENSE}} = V_{\text{IN}+} - V_{\text{IN}-} = 0.5\text{V}/\text{增益}$ ， $V_{\text{CM}} = V_{\text{IN}-} = 48\text{V}$ (除非另有说明)。

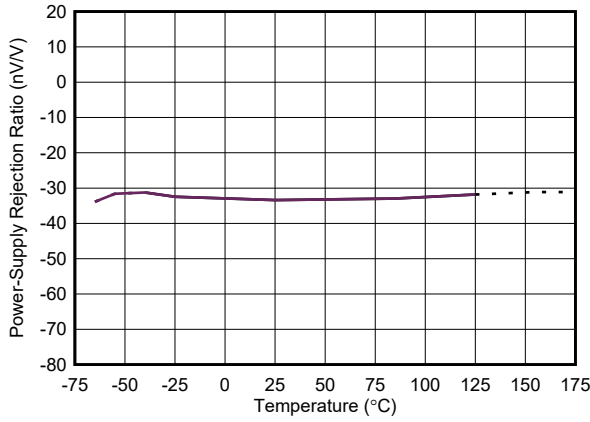


图 5-7. 电源抑制比与温度之间的关系

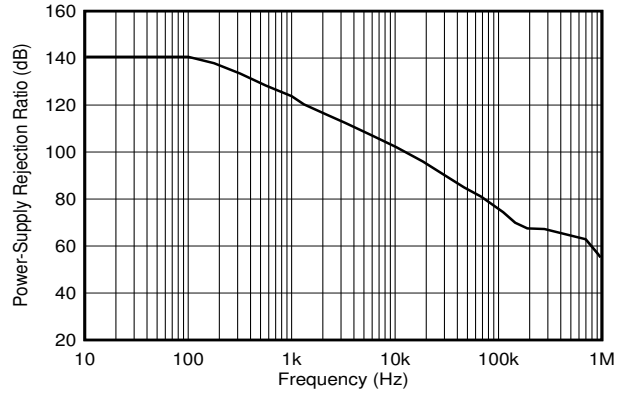
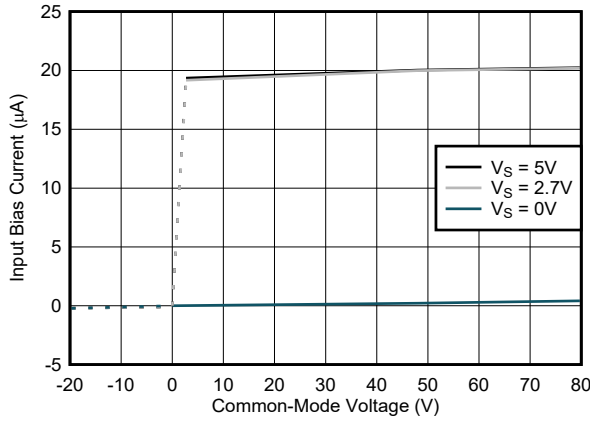


图 5-8. 电源抑制比与频率之间的关系



$V_{\text{SENSE}} = 0\text{V}$

图 5-9. 输入偏置电流与共模电压之间的关系

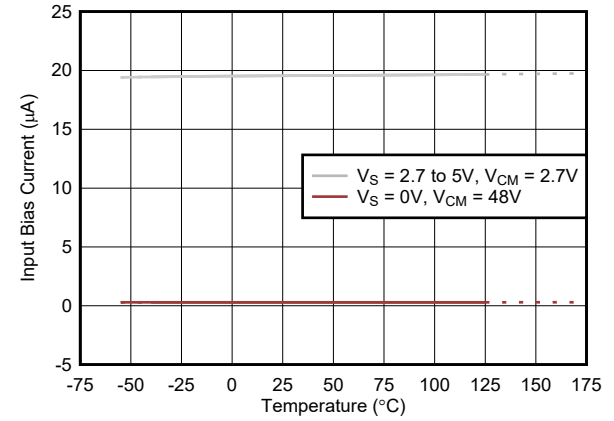


图 5-10. 输入偏置电流与温度间的关系

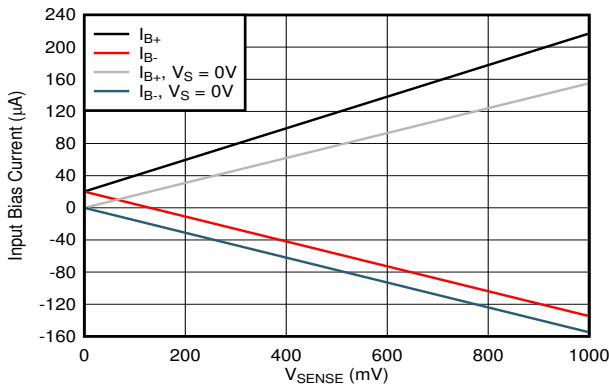
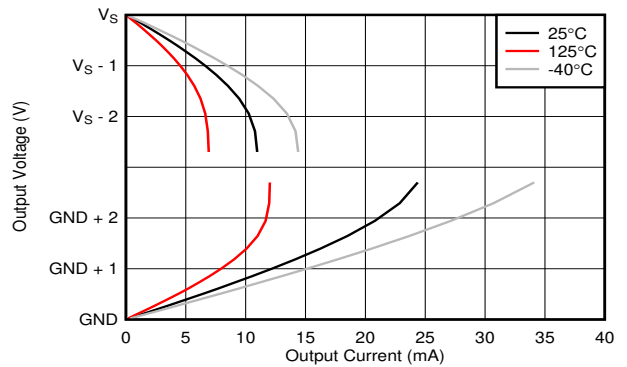


图 5-11. 输入偏置电流与 V_{SENSE} 之间的关系



$V_S = 2.7\text{V}$

图 5-12. 输出电压与输出电流间的关系

5.6 典型特性 (续)

所有规格的适用条件为： $T_A = 25^\circ\text{C}$ ， $V_S = 5\text{V}$ ， $V_{\text{SENSE}} = V_{\text{IN}+} - V_{\text{IN}-} = 0.5\text{V}/\text{增益}$ ， $V_{\text{CM}} = V_{\text{IN}-} = 48\text{V}$ (除非另有说明)。

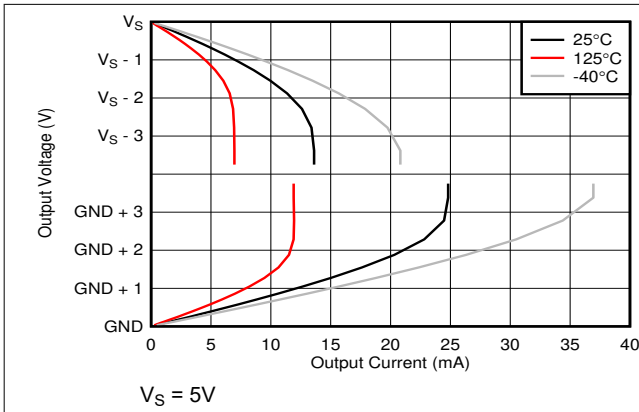


图 5-13. 输出电压与输出电流间的关系

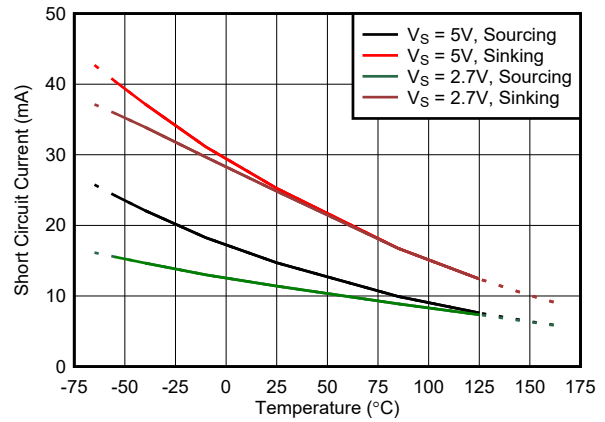


图 5-14. 短路电流与温度之间的关系

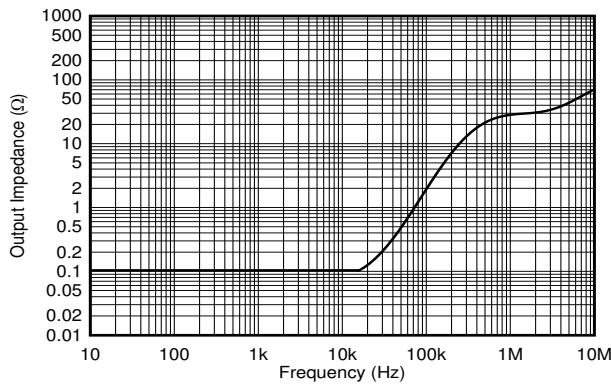


图 5-15. 输出阻抗与频率间的关系

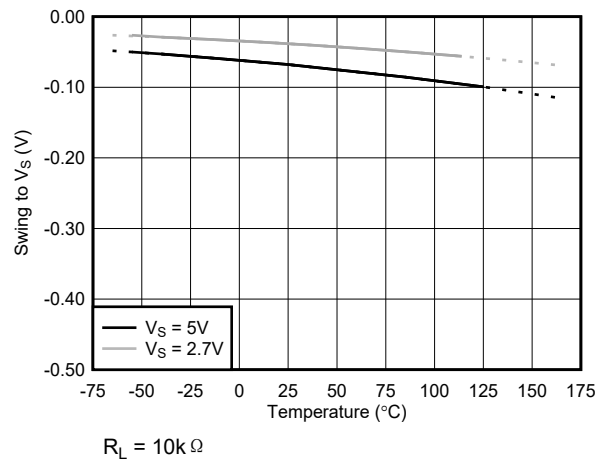


图 5-16. 电源摆幅与温度之间的关系

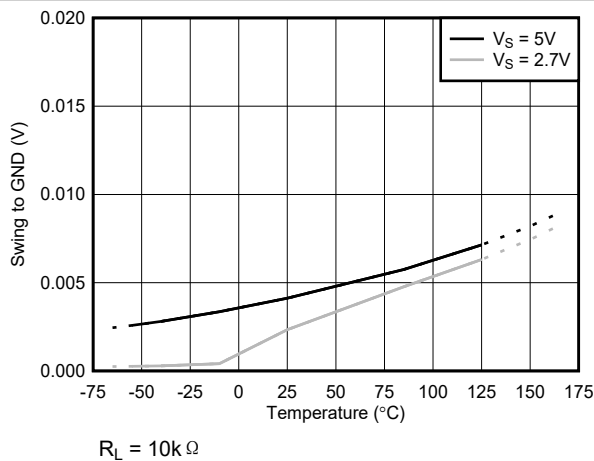


图 5-17. 对 GND 摆幅与温度之间的关系

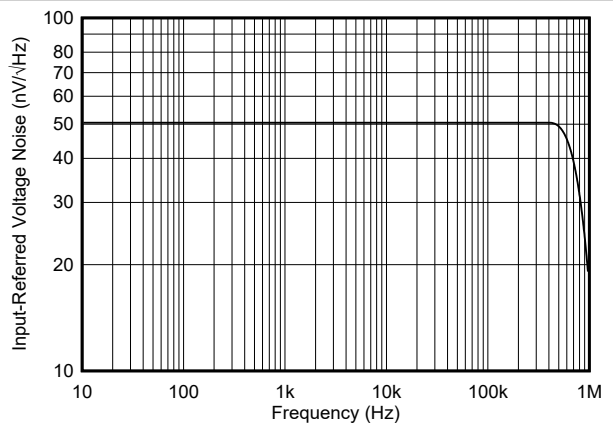


图 5-18. 以输入为基准的噪声与频率间的关系

5.6 典型特性 (续)

所有规格的适用条件为： $T_A = 25^\circ\text{C}$ ， $V_S = 5\text{V}$ ， $V_{\text{SENSE}} = V_{\text{IN}+} - V_{\text{IN}-} = 0.5\text{V}/\text{增益}$ ， $V_{\text{CM}} = V_{\text{IN}-} = 48\text{V}$ (除非另有说明)。

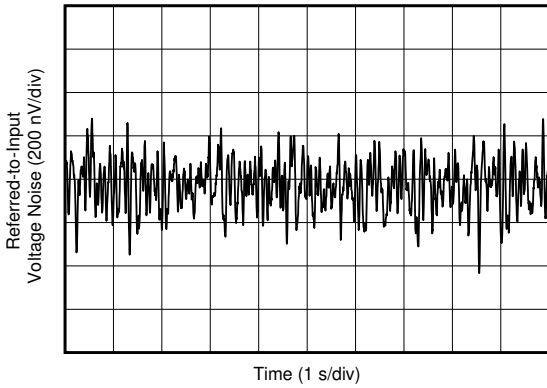


图 5-19. 输入参考噪声

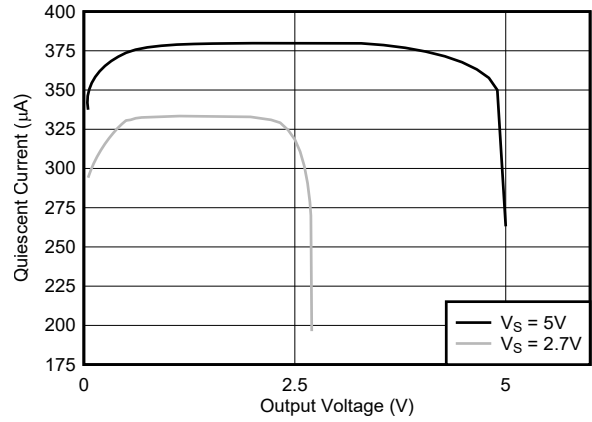


图 5-20. 静态电流与输出电压之间的关系

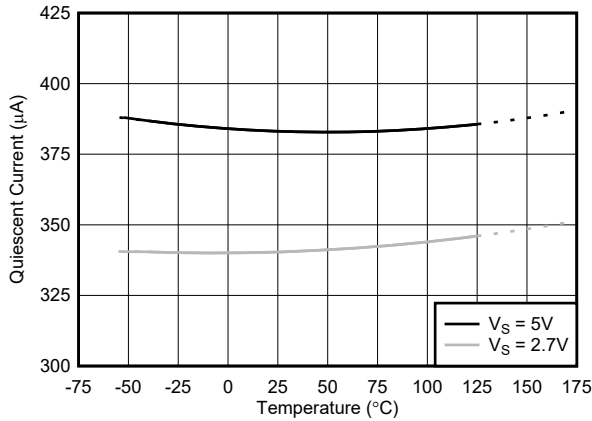


图 5-21. 静态电流与温度间的关系

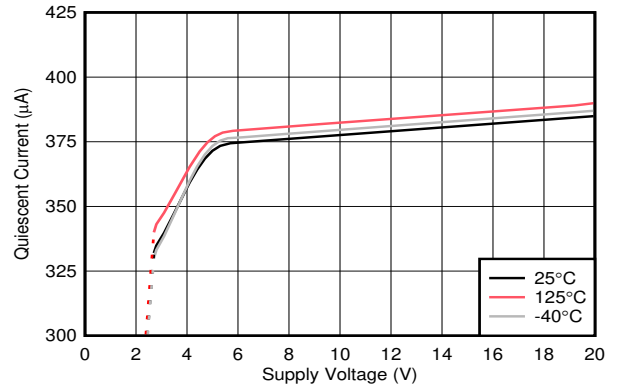


图 5-22. 静态电流与电源电压间的关系

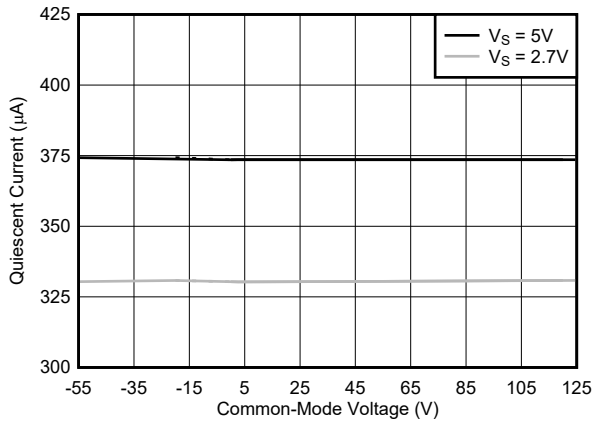


图 5-23. 静态电流与共模电压之间的关系

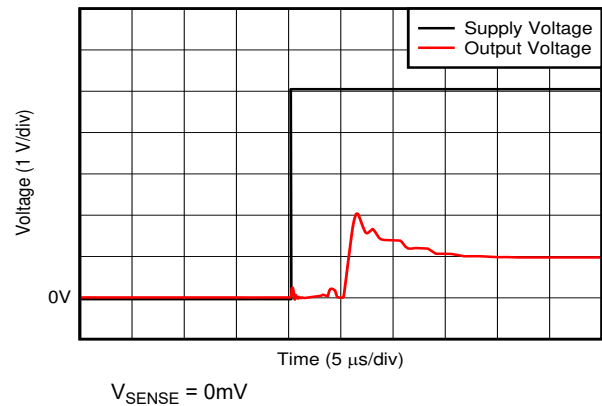


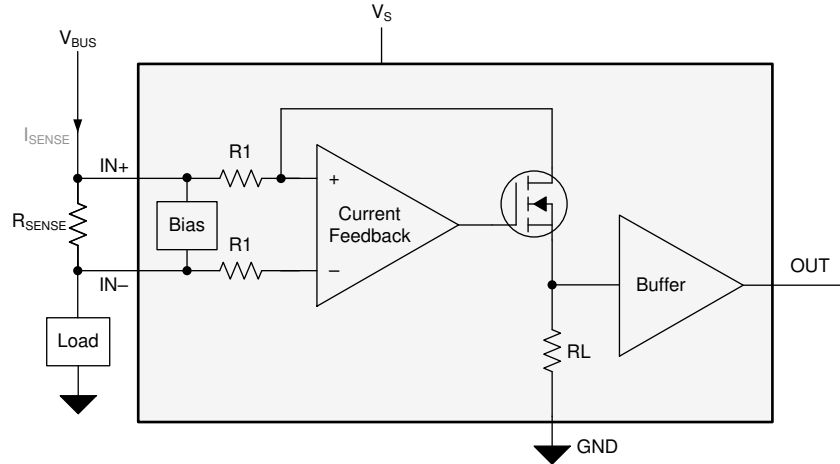
图 5-24. 启动响应

6 详细说明

6.1 概述

INA950-SEP 是一款仅高侧电流检测放大器，具有宽共模范围、精密零漂移拓扑、出色的共模抑制比 (CMRR)、高带宽和快速转换率。它有不同的增益版本，以便根据应用来优化输出动态范围。INA950-SEP 采用带电流反馈放大器的跨导架构设计，能够实现 $20\ \mu\text{A}$ 的低偏置电流与 80V 的共模电压。

6.2 功能方框图



6.3 特性说明

6.3.1 放大器输入共模范围

INA950-SEP 支持 2.7V 至 80V 的宽输入共模电压，具有 160dB (典型值) 的高直流 CMRR 与 85dB 的交流 CMRR (50kHz 时)。如图 6-1 所示，最小共模电压受到电源电压的限制。内部放大器 INA950-SEP 的拓扑结构限制了在高侧电流检测应用中的运行情况。

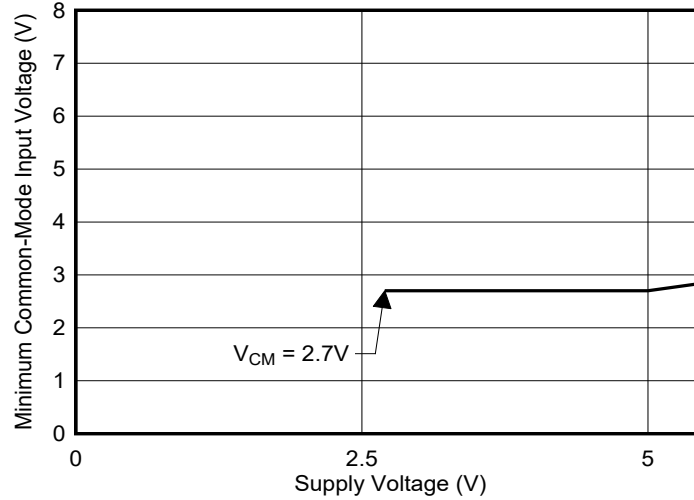


图 6-1. 最小共模电压与电源之间的关系

6.3.2 输入信号带宽

图 5-5 显示了 INA950-SEP 的 INA950-SEP -3dB 带宽。高带宽能够实现快速检测与处理过流事件所需要的吞吐量与快速响应。

器件带宽还取决于施加的 V_{SENSE} 电压。图 6-2 显示了输出电压增加时，随频率变化的器件带宽性能曲线。如图 6-2 所示，具有较高的 V_{SENSE} 电压时，器件具有最大带宽。

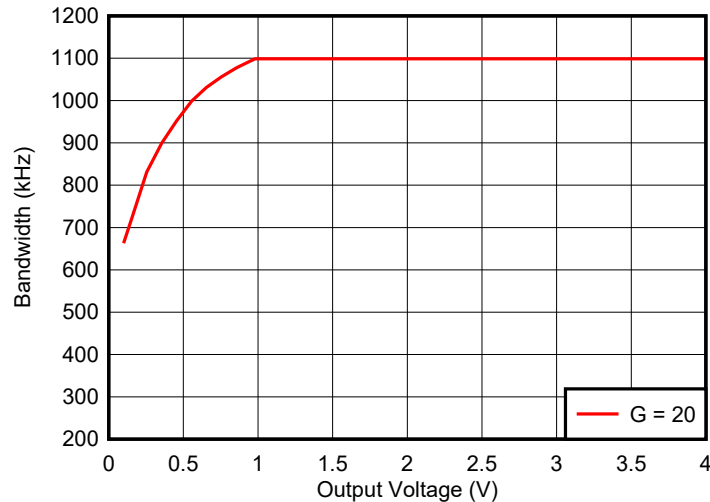


图 6-2. 带宽与输出电压关系图

6.3.3 低输入偏置电流

即使共模电压高达 80V，INA950-SEP 的输入偏置电流也能达到 20 μ A (典型值)。该电流能够在检测电流较小或需要较低输入泄漏电流的应用中实现精确的电流检测。

6.3.4 低 V_{SENSE} 运行

INA950-SEP 能够在整个有效的 V_{SENSE} 范围内实现准确的电流测量。INA950-SEP 的零漂移输入架构提供了在 -55°C 至 $+125^{\circ}\text{C}$ 的宽工作温度范围内准确测量低 V_{SENSE} 电平的低偏移电压与低偏移漂移。得益于自身测量低检测电压的能力，该器件不仅能够在较低的负载电流下进行精确测量，还能够在给定的工作电流下降低检测电阻值，从而最大限度地降低电流检测元件的功率损耗。

6.3.5 宽固定增益输出

对于大多数增益选项，在室温环境下，INA950-SEP 增益误差 $< 0.1\%$ ；在 -55°C 至 $+125^{\circ}\text{C}$ 的全温度范围内，最大温漂为 $5\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ 。

INA950-SEP 闭环增益由精密、低漂移的内部电阻网络设置。该等电阻器的比率非常匹配，但绝对值可能存在很大差异。由于这种变化，德州仪器 (TI) 不建议为了更改有效增益，在 INA950-SEP 周围连接额外的电阻。表 6-1 描述了上面的功能图中看到的内部增益电阻器的典型值。

表 6-1. 固定增益电阻器

增益	R1	RL
20 (V/V)	25k Ω	500k Ω

6.4 器件功能模式

6.4.1 单向运行

INA950-SEP 能够测量流经电阻器 (通常称为 “**电流检测电阻器**” 或 “**分流电阻器**”) 的电流产生的差分电压。**图 6-3** 显示 INA950-SEP 仅在单向模式下工作, 即: 仅检测从电源到系统负载的电流。

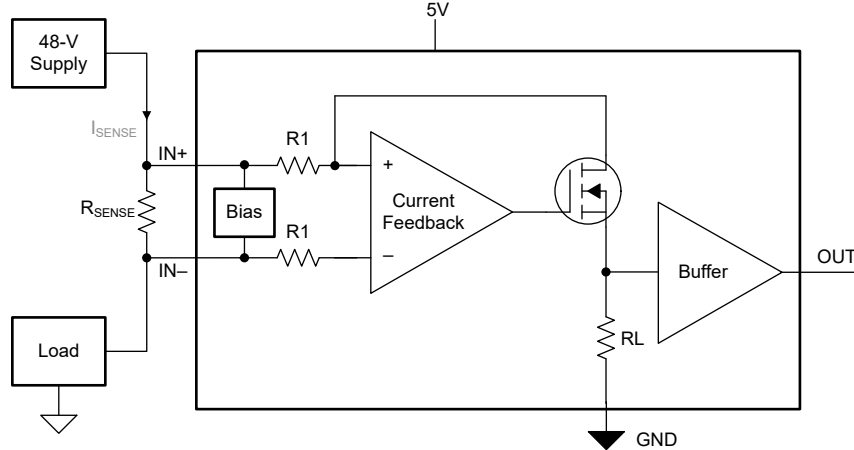


图 6-3. 双向应用

输出级的线性范围受限于在零输入条件下输出电压可以接近接地的程度。INA950-SEP 的零电流输出电压非常小, 最大为 $GND + 25mV$ 。施加 ($25mV/增益$) 或更大的差分输入电压, 以便确保 INA950-SEP 输出能够保持在线性运行区域。

6.4.2 高信号吞吐量

在增益为 $20V/V$ 和转化率为 $2V/\mu s$ 时, INA950-SEP 带宽为 $1.1MHz$, 专门设计用于检测和保护应用程序免受快速浪涌电流的影响。如 **表 6-2** 所示, 对于在 $2m\Omega$ 分流器上测量 $75A$ 阈值的系统, INA950-SEP 响应时间短于 $2\mu s$ 。

表 6-2. 响应时间

参数	等式	值	
V_S	电源电压	5V	
G	增益	$20V/V$	
I_{MAX}	最大电流	100A	
$I_{Threshold}$	阈值电流	75A	
R_{SENSE}	电流检测电阻值	$2m\Omega$	
V_{OUT_MAX}	最大电流下的输出电压	$V_{OUT} = I_{MAX} \times R_{SENSE} \times G$	4V
V_{OUT_THR}	阈值电流下的输出电压	$V_{OUT_THR} = I_{THR} \times R_{SENSE} \times G$	3V
SR	压摆率	$2V/\mu s$	
	输出响应时间	$T_{response} = V_{OUT_THR} / SR$	$< 2\mu s$

7 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 元件规格，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户负责确定元件是否适合其用途，以及验证和测试其设计实现以确认系统功能。

7.1 应用信息

当电流经电阻流向负载时，INA950-SEP 会将在电流检测电阻器两端产生的电压放大。INA950-SEP 具有宽输入共模电压范围与高共模抑制，因此能够在保持精确电流测量的同时，利用宽电压轨范围。

7.1.1 R_{SENSE} 和器件增益选择

通过选择尽可能大的电流检测电阻，可以尽量提高任何电流检测放大器的精度。较大的检测电阻可在给定电流量下使差分输入信号达到最大，并减小失调电压的误差贡献。但是，由于电阻阻值和最大允许功率损耗不同，给定应用对于电流检测电阻的阻值大小存在一些实际限制。方程式 1 给出了在给定功率损耗预算下，电流检测电阻的最大值。

$$R_{SENSE} < \frac{PD_{MAX}}{I_{MAX}^2} \quad (1)$$

其中：

- PD_{MAX} 是 R_{SENSE} 中的最大允许功率损耗。
- I_{MAX} 是流过 R_{SENSE} 的最大电流。

电流检测电阻的大小与器件增益的其他限制取决于电源电压 V_S 与器件摆幅至轨限制。为了验证电流检测信号是否正确传递到输出端，必须检查正负输出摆幅限制。方程式 2 提供了 R_{SENSE} 和 $GAIN$ 的最大值，以便防止设备超过正摆幅限制。

$$I_{MAX} \times R_{SENSE} \times GAIN < V_{SP} \quad (2)$$

其中：

- I_{MAX} 是流过 R_{SENSE} 的最大电流。
- $GAIN$ 是电流检测放大器的增益。
- V_{SP} 为本数据表中规定的正输出摆幅。

为了避免在选择 R_{SENSE} 的值时出现正输出摆幅限制，在检测电阻的值与所考虑的器件增益之间总是存在权衡。如果为最大功率损耗选择的检测电阻太大，则可以选择较低的增益器件以避免正摆幅限制。

负摆幅限制对给定应用的检测电阻值可以小到何种程度施加了限制。方程式 3 提供了对感测电阻最小值的限制。

$$I_{MIN} \times R_{SENSE} \times GAIN > V_{SN} \quad (3)$$

其中：

- I_{MIN} 是流过 R_{SENSE} 的最小电流。
- $GAIN$ 是电流检测放大器的增益。
- V_{SN} 是器件的负输出摆幅。

表 7-1 显示了通过利用 INA950-SEP 的五个不同增益版本获得的不同结果示例。从表格数据中可以看出，最高增益的器件支持使用较小的分流电阻器并降低元件中的功率损耗。

表 7-1. R_{SENSE} 选择与功率耗散

参数 ⁽¹⁾		等式	结果
V _S	电源电压		5V
G	增益		20V/V
V _{SENSE}	理想差分输入电压 (忽略摆幅限制与电源变化)	$V_{SENSE} = V_{OUT} / G$	250mV
R _{SENSE}	电流检测电阻值	$R_{SENSE} = V_{SENSE} / I_{MAX}$	25mΩ
P _{SENSE}	电流检测电阻功率损耗	$R_{SENSE} \times I_{MAX}^2$	2.5W

(1) 设计示例，满量程电流为 10A，最大输出电压设置为 5V。

7.1.2 输入滤波

备注

使用 INA950-SEP 进行精确测量不需要输入滤波器，因此不建议在此位置使用滤波器。如果在放大器的输入端使用滤波器元件，请遵循本节中的指导原则，以尽量减少对性能的影响。

严格根据用户设计要求，可能需要对电流信号进行外部滤波。可考虑将滤波器的初始位置设在电流检测放大器的输出端。尽管将滤波器放置在输出端可以满足滤波要求，但该位置会改变连接到输出电压引脚的任何电路所测量的低输出阻抗。滤波器的另一个放置位置是电流检测放大器输入引脚。此位置也能满足滤波要求，但是必须仔细选择元件以更大限度地降低对器件性能的影响。图 7-1 显示了一个放置在输入引脚的滤波器。

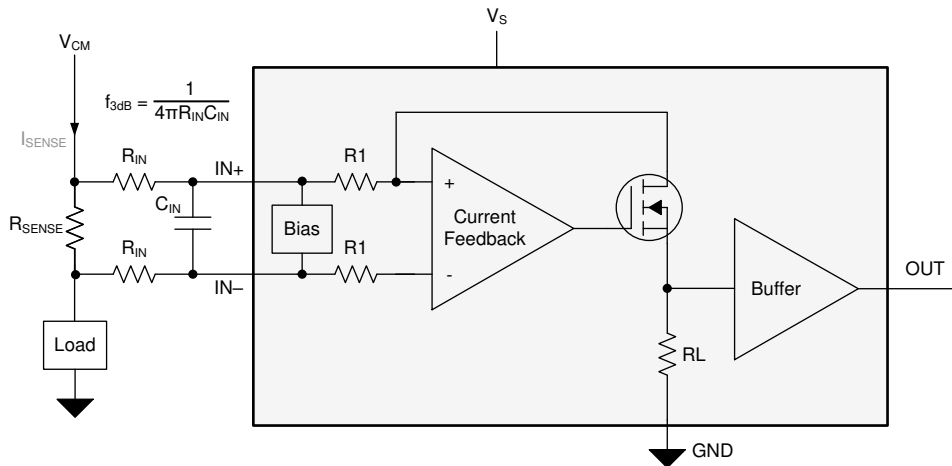


图 7-1. 在输入引脚上的滤波器

外部串联电阻会带来额外的测量误差，因此请将这些串联电阻的值保持在 10Ω 或更小，以减少精度损失。当在输入引脚之间施加差分电压时，图 7-1 中所示的内部偏置网络会产生不匹配的输入偏置电流 (参阅节 5.6)。如果在电路中添加额外的外部串联滤波电阻器，则会使滤波电阻器两端的电压降失配。该电压是分流电阻器电压中的差分误差电压。除了绝对电阻值之外，由电阻容差引起的失配也会显著影响误差，因为该值是根据实际测得的电阻计算得出的。

使用方程式 4 来计算额外的外部滤波器电阻器预期会产生的测量误差，并使用方程式 5 来计算增益误差因子。

$$\text{Gain Error (\%)} = 100 \times (\text{Gain Error Factor} - 1) \tag{4}$$

$$\text{Gain Error Factor} = \frac{R_B \times R_1}{(R_B \times R_1) + (R_B \times R_{IN}) + (2 \times R_{IN} \times R_1)} \tag{5}$$

其中：

- R_{IN} 是外部滤波器电阻值。
- R_1 是表 6-1 中指定的 INA950-SEP 输入电阻值。
- 内部偏置电阻中的 R_B 为 $6600\ \Omega \pm 20\%$ 。

通过计算增益误差因子 (如图 方程式 4 所示), 可以确定额外外部串联电阻带来的增益误差。方程式 4 计算由添加的外部滤波器电阻产生的衰减和不平衡导致的分流电压偏差。表 7-2 提供了几个电阻值的增益误差因子和增益误差。

表 7-2. $10\ \Omega$ 外部滤波器输入电阻的增益误差因子和增益误差示例

器件 (增益)	增益误差因子	增益误差 (%)
20	0.99658	-0.34185

7.2 典型应用

INA950-SEP 是一款单向电流检测放大器, 能够通过分流共模电压为 2.7V 至 80V 的电阻分流器来测量电流。图 7-2 显示了用于在高侧射频 (RF) 功率放大器 (PA) 应用中监测电流的电路配置。

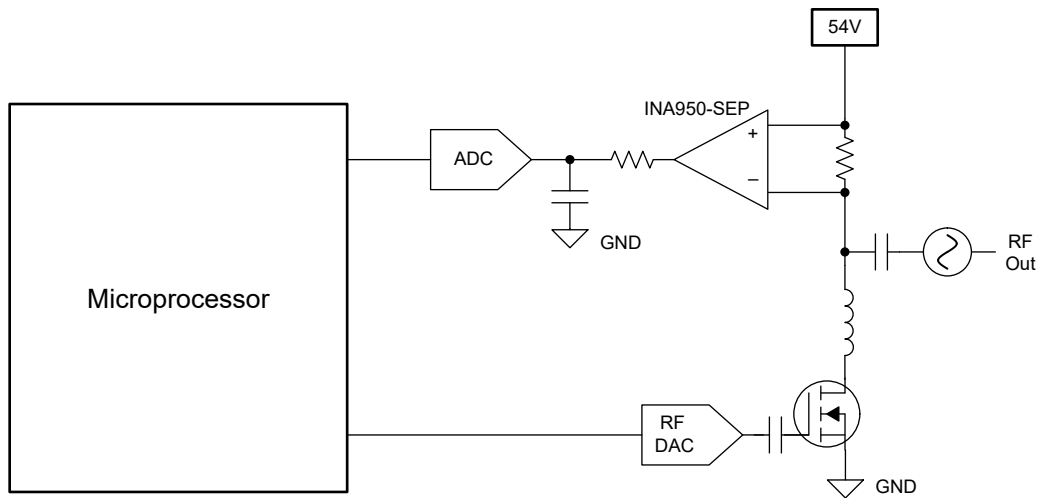


图 7-2. PA 应用中的电流检测

7.2.1 设计要求

V_{SUPPLY} 设置为 5V，共模电压设置为 54V。表 7-3 列出了该应用的设计设置。

表 7-3. 设计参数

设计参数	示例值
INA950-SEP 电源电压	5V
高侧电源电压	5V
最大检测电流 (I_{MAX})	5A
增益选项	20V/V

7.2.2 详细设计过程

电流检测电阻的最大值根据增益选择、最大检测电流 (I_{MAX}) 以及电源电压 (V_{S}) 进行计算。在最大电流下运行时，输出电压不得超过正输出摆幅规格 V_{SP} 。根据给定的设计参数，方程式 6 计算的 R_{SENSE} 的最大值为 48m Ω 。

$$R_{\text{SENSE}} < \frac{V_{\text{SP}}}{I_{\text{MAX}} \times \text{GAIN}} \quad (6)$$

尽管 45.3m Ω 小于计算得到的最大值，但本设计示例仍采用 45.3m Ω ，因为该值仍然足够大，能够在电流检测放大器输出端提供足够的信号，并且是标准的 1% 值。

7.2.2.1 具有负 V_{SENSE} 的过载恢复

INA950-SEP 是一款单向电流检测放大器，这意味着，能够在正差动输入电压 (V_{SENSE}) 下工作。如果施加负 V_{SENSE} ，器件将处于过载状态，在 V_{SENSE} 恢复正值一段时间后才能恢复。负 V_{SENSE} 越多，所需的过载恢复时间越多。

7.2.3 应用曲线

图 7-3 显示了器件对高频正弦电流的输出响应。

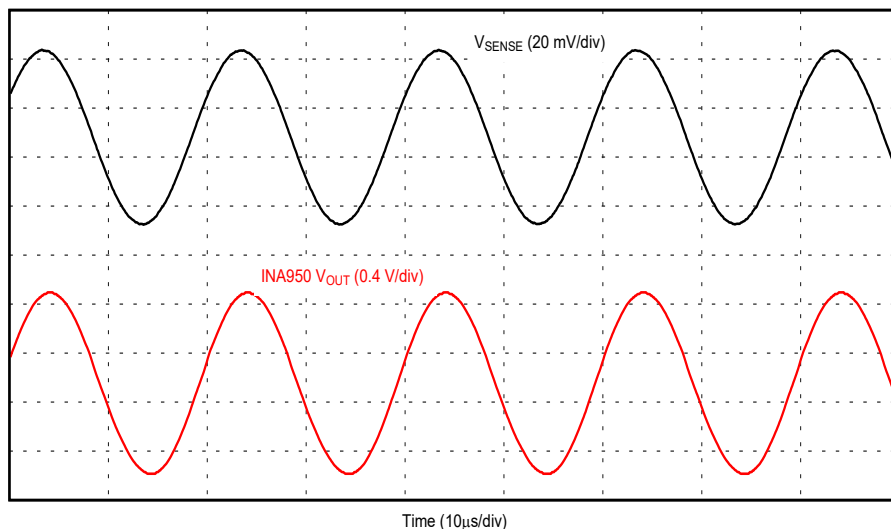


图 7-3. INA950-SEP 输出响应

7.3 电源相关建议

INA950-SEP 的输入电路能够准确地测量超过电源电压的电压值。电源可为 5.5V，而 $\text{IN}+$ 与 $\text{IN}-$ 的负载电源电压可高达 80V。OUT 引脚的输出电压范围受 VS 引脚上的电压与器件电源规格的电压摆幅的限制。

7.4 布局

7.4.1 布局指南

德州仪器 (TI) 始终建议遵循良好的布局实践：

- 使用开尔文连接或 4 线制连接将输入引脚连接到检测电阻器。这种连接技术可确保在输入引脚之间仅检测电流检测电阻的阻抗。电流检测电阻布线不良通常会导致在输入引脚之间存在额外的电阻。鉴于电流电阻的欧姆值非常低，任何额外的高载流阻抗都会导致严重的测量误差。
- 电源旁路电容器的位置应尽可能靠近器件电源引脚和接地引脚。此旁路电容器的建议值为 $0.1\mu\text{F}$ 。可以添加额外的去耦电容以补偿噪声或高阻抗电源。
- 在为从电流检测电阻到器件的连接进行布线时，应尽可能缩短布线长度。

7.4.2 布局示例

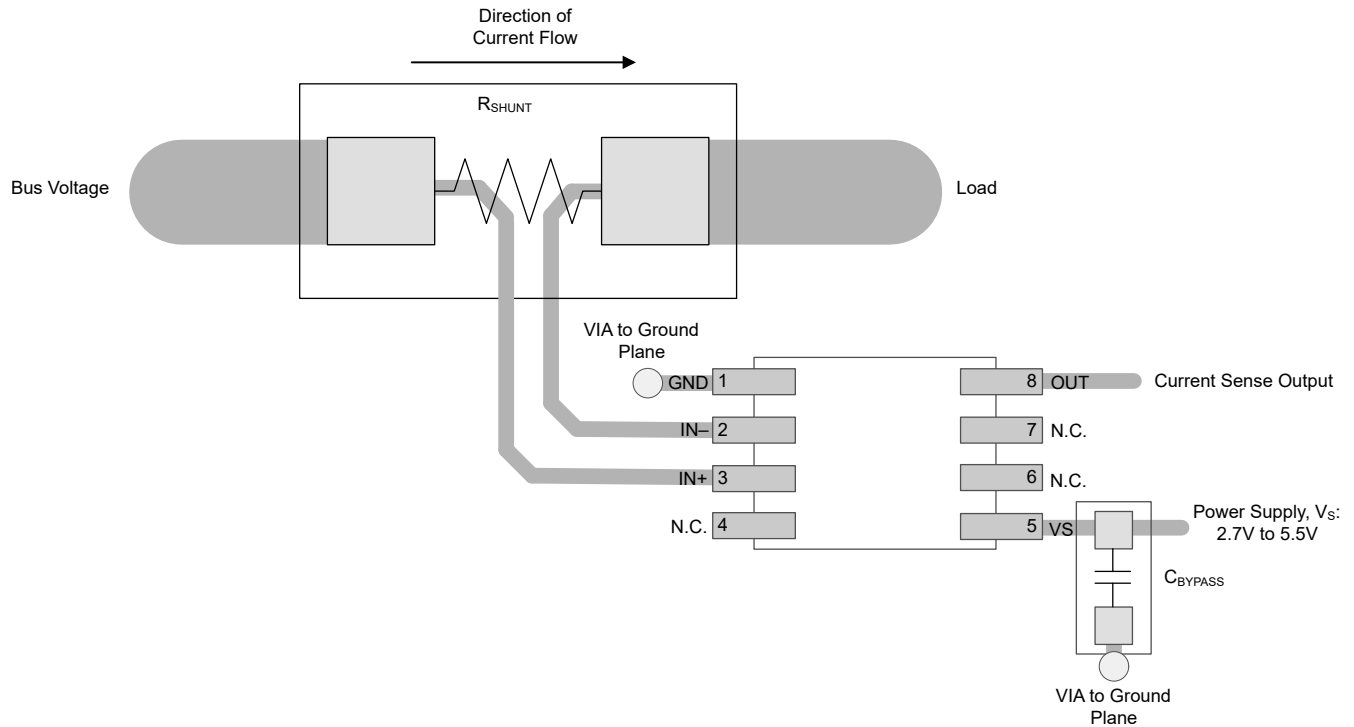


图 7-4. INA950-SEP 的推荐布局

8 器件和文档支持

8.1 文档支持

8.1.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI)，《[INA950-SEP 生产流程与可靠性报告](#)》(辐射报告)
- 德州仪器 (TI)，《[INA950-SEP 总电离剂量 \(TID\) 报告](#)》(辐射报告)
- 德州仪器 (TI)，《[INA950-SEP 单粒子效应 \(SEE\) 辐射测试报告](#)》(辐射报告)

8.2 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 [ti.com](#) 上的器件产品文件夹。点击 [通知](#) 进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

8.3 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的 [使用条款](#)。

8.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

8.5 静电放电警告



静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

8.6 术语表

[TI 术语表](#) 本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

9 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

日期	修订版本	注释
March 2025	*	初始发行版

10 机械、封装和可订购信息

以下页面包含机械、封装和可订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

10.1 机械数据

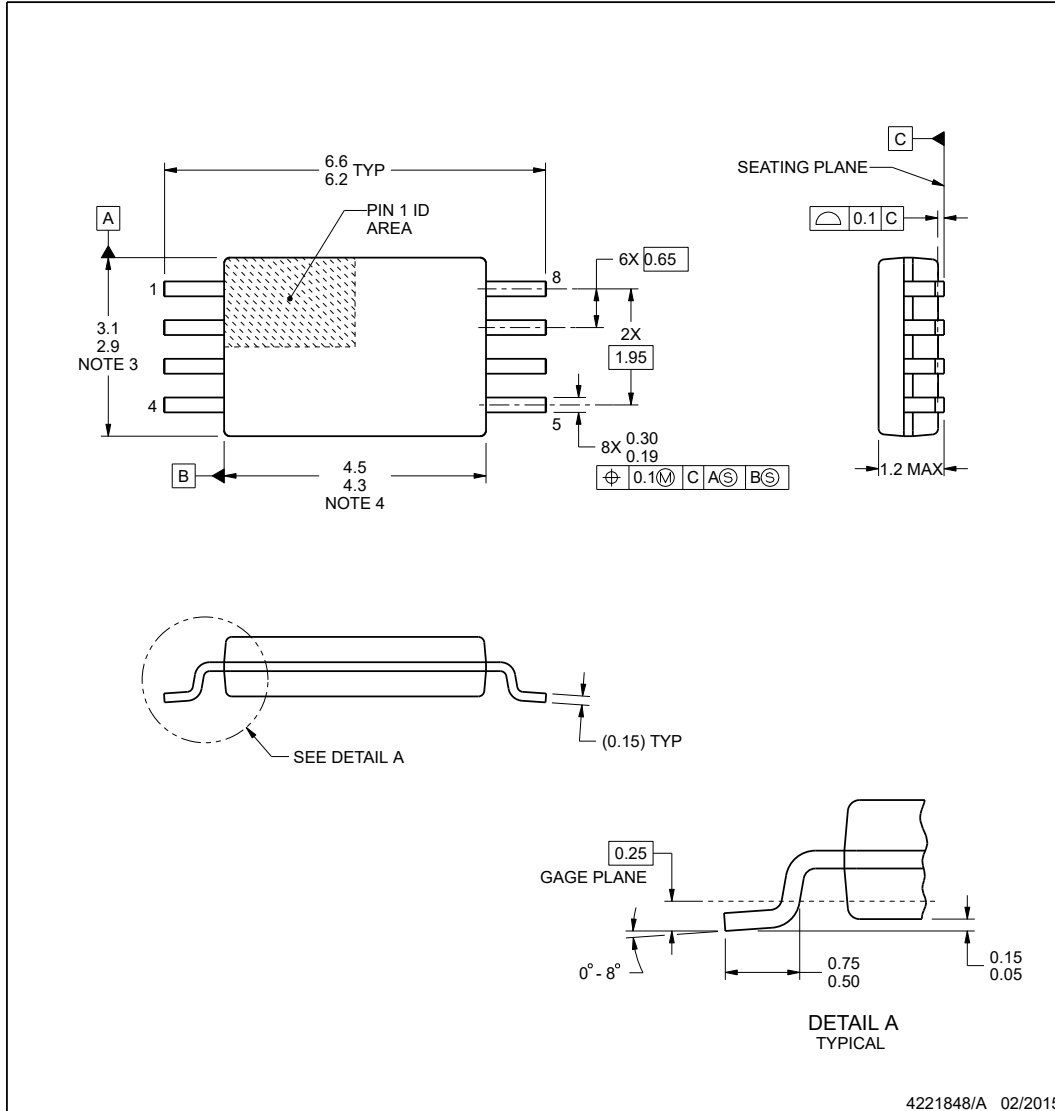


PW0008A

PACKAGE OUTLINE

TSSOP - 1.2 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES:

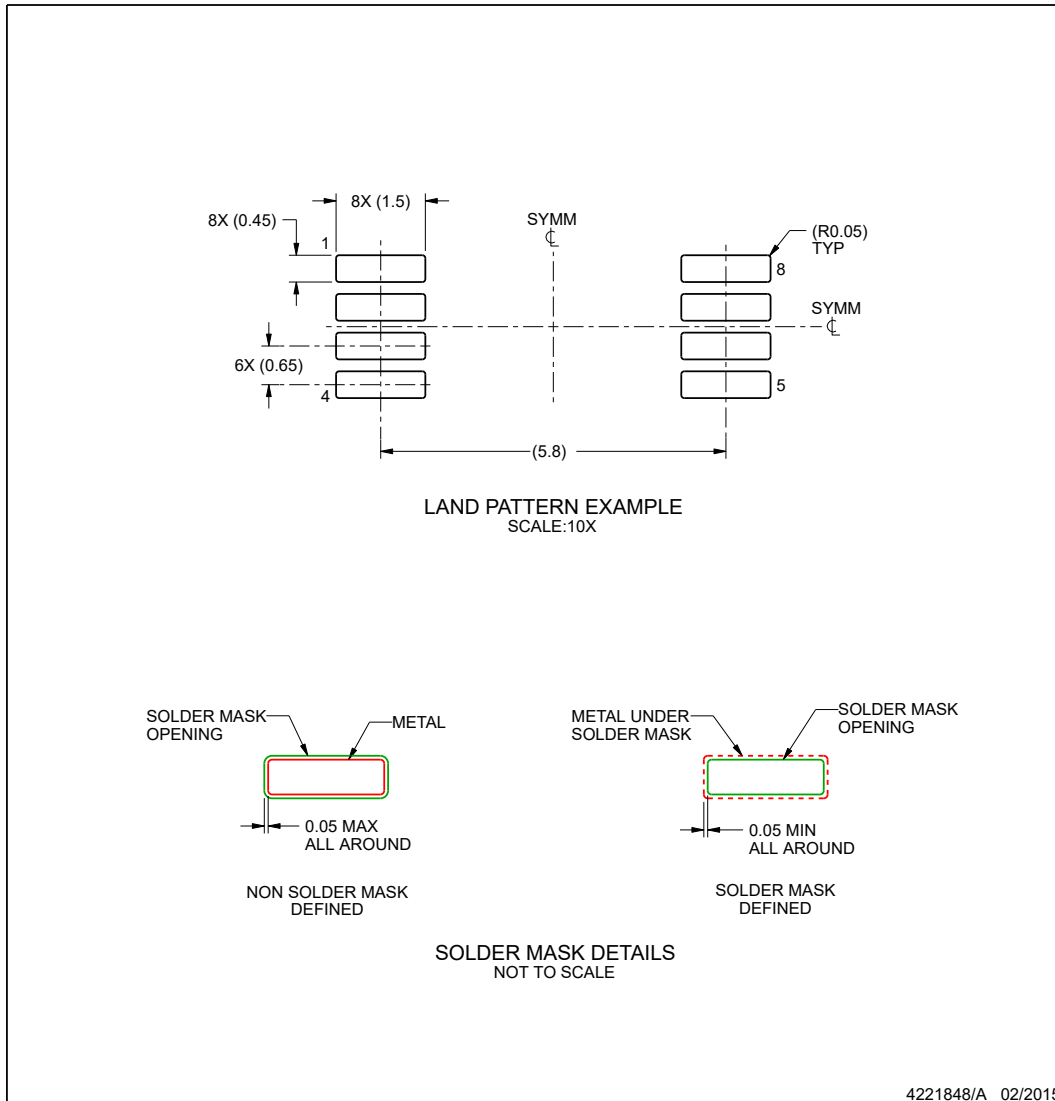
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm per side.
4. This dimension does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.25 mm per side.
5. Reference JEDEC registration MO-153, variation AA.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

PW0008A

TSSOP - 1.2 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES: (continued)

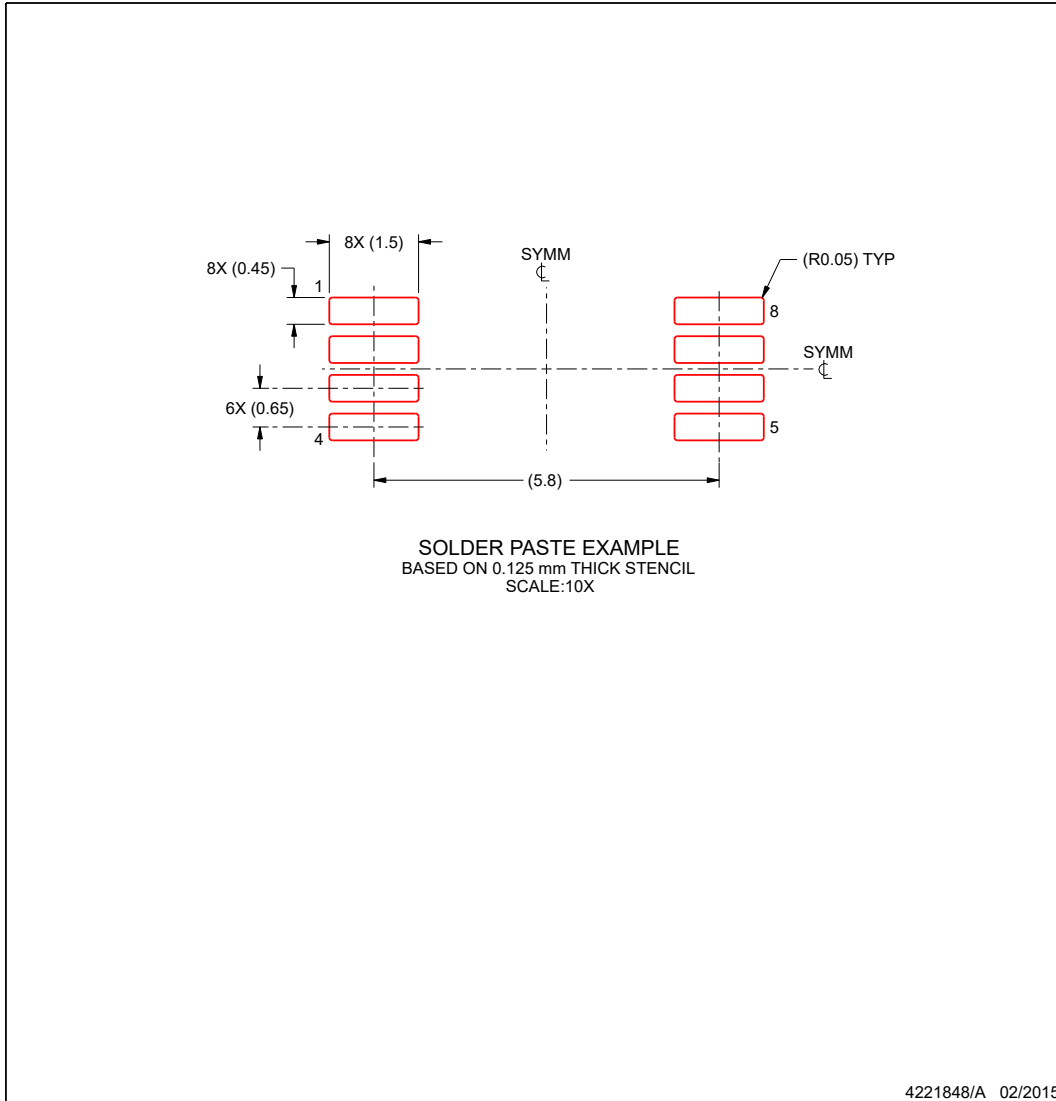
- 6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
- 7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

PW0008A

TSSOP - 1.2 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES: (continued)

8. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
9. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

封装信息

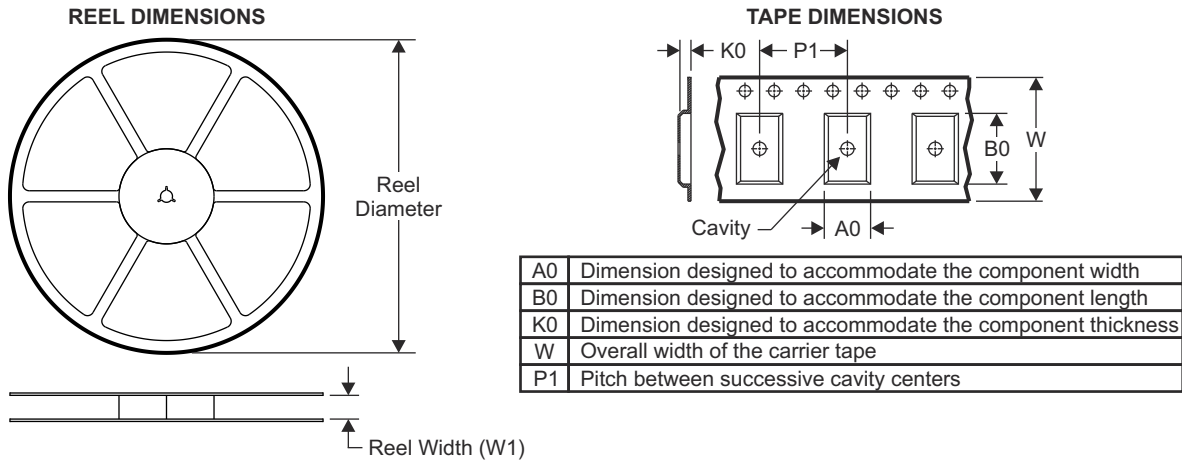
可订购器件	状态 ⁽¹⁾	封装类型	封装图	引脚	包装数量	环保计划 ⁽²⁾	引脚镀层/焊球材料 ⁽⁶⁾	MSL 峰值温度 ⁽³⁾	工作温度 (°C)	器件标识 ^{(4) (5)}
NA950A1MPW TSEP	PRE_PROD	TSSOP	PW	8	250	RoHS 和绿色环保	NIPDAU	Level-3-260C-1 68 HR	-55°C - 125°C	950SEP

- (1) 销售状态值定义如下：
正在供货：建议用于新设计的产品器件。
限期购买：TI 已宣布器件即将停产，但仍在购买期限内。
NRND：不推荐用于新设计。为支持现有客户，器件仍在生产，但 TI 不建议在新设计中使用此器件。**预发布**：器件已发布，但未量产。可能提供样片，也可能无法提供样片。
已停产：TI 已停止生产该器件。
- (2) **RoHS**：TI 定义的“RoHS”是指半导体产品符合针对所有 10 种 RoHS 物质的现行 EU RoHS 要求，包括要求 RoHS 物质不超过均质材料总重量的 0.1%。因在设计时就考虑到了高温焊接要求，因此“RoHS”产品适用于指定的无铅作业。TI 可将这类产品标记为“无铅”。
RoHS 豁免：TI 定义的“RoHS 豁免”是指含铅、但根据特定 EU RoHS 豁免规定符合 EU RoHS 标准的产品。
绿色：TI 定义的“绿色”是指氯 (CL) 和溴 (Br) 阻燃剂的含量符合 JS709B 中 $\leq 1000\text{ppm}$ 阈值的低卤要求。基于三氧化二锑的阻燃剂也必须符合 $\leq 1000\text{ppm}$ 的阈值要求。
- (3) MSL，峰值温度-湿敏等级额定值（符合 JEDEC 工业标准分级）和峰值焊接温度。
- (4) 器件上可能还有与标识、批次跟踪代码信息或环境分类相关的其他标志。
- (5) 如有多个器件标识，将用括号括起来。不过，器件上仅显示括号中以“~”隔开的其中一个器件标识。如果某一行缩进，说明该行续接上一行，这两行合在一起表示该器件的完整器件标识。
- (6) 引脚镀层/焊球材料 - 可订购器件可能有多种镀层材料选项。各镀层选项用垂直线隔开。如果铅镀层/焊球值超出最大列宽，则会折为两行。

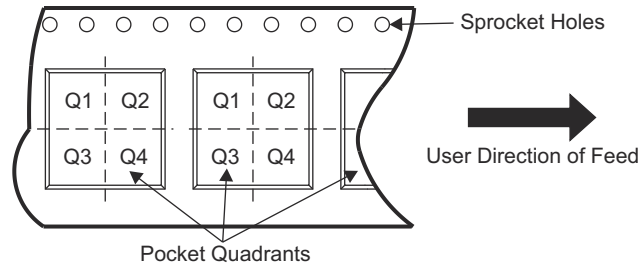
重要信息和免责声明：本页面上提供的信息代表 TI 在提供该信息之日的认知和观点。TI 的认知和观点基于第三方提供的信息，TI 不对此类信息的正确性做任何声明或保证。TI 正在致力于更好地整合第三方信息。TI 已经并将继续采取合理的措施来提供有代表性且准确的信息，但是可能尚未对引入的原料和化学制品进行破坏性测试或化学分析。TI 和 TI 供应商认为某些信息属于专有信息，因此可能不会公布其 CAS 编号及其他受限制的信息。

在任何情况下，TI 因此类信息产生的责任决不超过 TI 每年向客户销售的本文档所述 TI 器件的总购买价。

10.2 卷带包装信息

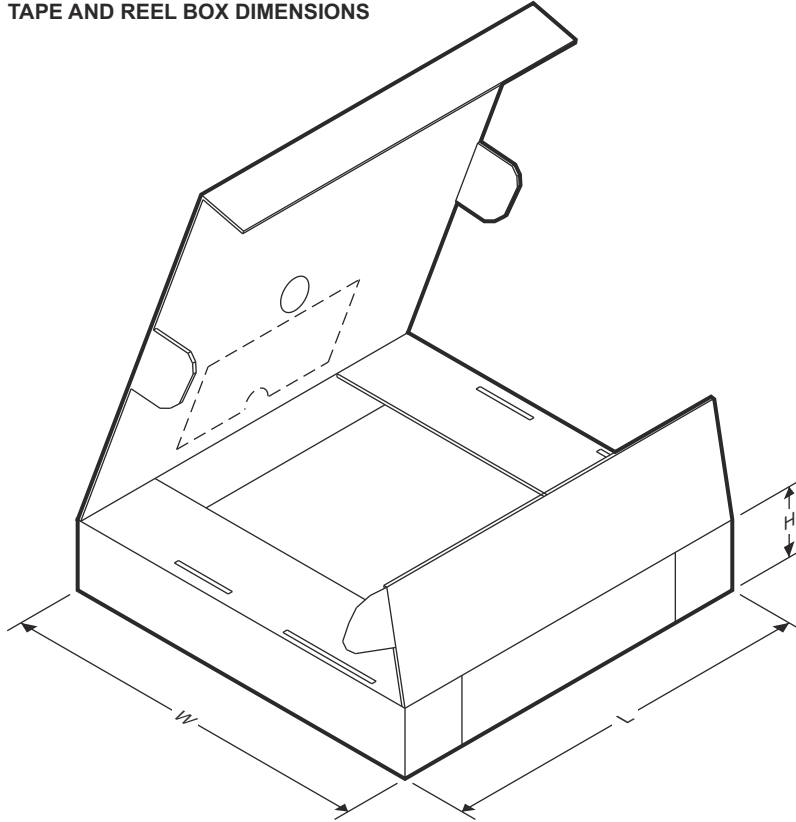


QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



器件	封装类型	封装图	引脚	SPQ	卷带直径 (mm)	卷带宽度 W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 象限
INA950A1MPWTSEP	TSSOP	PW	8	250	180	12.4	7	3.6	1.6	8	12	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



器件	封装类型	封装图	引脚	SPQ	长度 (mm)	宽度 (mm)	高度 (mm)
NA950A1MPWTSEP	TSSOP	PW	8	250	210	185	35

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package Pins	Package qty Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
INA950A1MPWTSEP	Active	Production	TSSOP (PW) 8	250 SMALL T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-55 to 125	950SEP
V62/25635-01XE	Active	Production	TSSOP (PW) 8	250 SMALL T&R	-	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-55 to 125	950SEP

(1) **Status:** For more details on status, see our [product life cycle](#).

(2) **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

(3) **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the [TI RoHS Statement](#) for additional information and value definition.

(4) **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

(5) **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

(6) **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer:The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION

QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
INA950A1MPWTSEP	TSSOP	PW	8	250	180.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
INA950A1MPWTSEP	TSSOP	PW	8	250	213.0	191.0	35.0

PW0008A



PACKAGE OUTLINE
TSSOP - 1.2 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm per side.
4. This dimension does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.25 mm per side.
5. Reference JEDEC registration MO-153, variation AA.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

PW0008A

TSSOP - 1.2 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



LAND PATTERN EXAMPLE
SCALE:10X



SOLDER MASK DETAILS
NOT TO SCALE

4221848/A 02/2015

NOTES: (continued)

- 6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
- 7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

PW0008A

TSSOP - 1.2 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE:10X

4221848/A 02/2015

NOTES: (continued)

8. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
9. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

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