

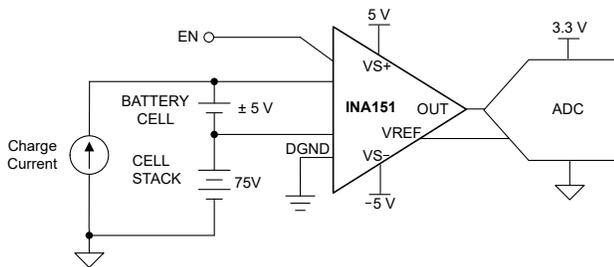
INA151 带启用/禁用功能的 110V、125dB CMRR 精密差分放大器

1 特性

- 宽电压范围：
 - 工作共模电压：4.3V 至 110V
 - 反向保护电压：低至 -85V
 - 差分输入电压：高达 $\pm 5V$
- 在高共模电压系统中实现高精度：
 - CMRR：在 $G=1V/V$ 、 $2/3V/V$ 时为 125dB (最小值)
 - 增益误差漂移：2ppm/°C (最大值)
 - 增益误差： $G=1V/V$ 时为 $\pm 0.03\%$ (最大值)
 - 失调电压漂移： $G=1V/V$ 时为 $\pm 0.6 \mu V/^\circ C$ (最大值)
 - 失调电压： $G=1$ 时为 $\pm 780 \mu V$ (最大值)
- 四种增益形式：
 - A： $G=1V/V$
 - B： $G=2/3V/V$
 - C： $G=1/2V/V$
 - D： $G=1/4V/V$
- 超高输入阻抗 (最小 $1M\Omega$)
- 启用/禁用功能：
 - 禁用期间的高阻态输出
- 带宽： $G=1V/V$ 时为 620kHz (典型值)
- 电源电压范围：
 - 电源电压范围：2.7V ($\pm 1.35V$) 至 20V ($\pm 10V$)
 - 启用时静态电流低：450 μA (典型值)
- 额定温度范围：-40°C 至 125°C

2 应用

- 电芯化成和测试设备
- 模拟输入模块
- 混合模块 (AI、AO、DI、DO)
- 精密多功能输入输出 DAQ



INA151 INA151B 的简化示例应用原理图

3 说明

INA151 是一款精密差分放大器，其输入共模电压范围比负电源高出达 110V (推荐)。INA151 可在高共模电压存在的情况下，精确测量电压，具有最小 125dB 的共模抑制比，输入阻抗大于 $1.4M\Omega$ ， $0.6 \mu V/^\circ C$ 的偏移电压温漂，增益为 $1V/V$ 。

INA151 提供的增益选项为 $1V/V$ (INA151A)、 $2/3V/V$ (INA151B)、 $1/2 V/V$ (INA151C) 和 $1/4V/V$ (INA151D)。

INA151 具有一个启用/禁用 (EN) 引脚，可提供高阻抗输出，允许在输出上堆叠多个 INA151。在许多应用中，这有助于减少使用输入多路复用器。

INA151 提供标准的 8 引脚封装，如 SOT-23。

封装信息

器件型号 ⁽¹⁾	VERSION	封装 ⁽²⁾	封装尺寸 ⁽³⁾
INA151	A (G = 1)	DDF (SOT-23, 8)	2.9mm × 2.8mm
	B (G = 2/3)		
	C (G = 1/2)		
	D (G = 1/4)		

- 请参阅 [器件比较表](#)。
- 有关更多信息，请参阅 [节 11](#)。
- 封装尺寸 (长 × 宽) 为标称值，并包括引脚 (如适用)。



内容

1 特性	1	7.4 器件功能模式	19
2 应用	1	8 应用和实施	20
3 说明	1	8.1 应用信息.....	21
4 器件比较表	2	8.2 典型应用.....	22
5 引脚配置和功能	3	8.3 电源相关建议.....	26
6 规格	4	8.4 布局.....	27
6.1 绝对最大额定值.....	4	9 器件和文档支持	28
6.2 ESD 等级.....	4	9.1 器件支持.....	28
6.3 建议运行条件.....	4	9.2 文档支持.....	28
6.4 热性能信息.....	5	9.3 接收文档更新通知.....	28
6.5 电气特性.....	6	9.4 支持资源.....	28
6.6 典型特性.....	8	9.5 商标.....	28
7 详细说明	16	9.6 静电放电警告.....	28
7.1 概述.....	16	9.7 术语表.....	28
7.2 功能方框图.....	16	10 修订历史记录	28
7.3 特性说明.....	17	11 机械、封装和可订购信息	29

4 器件比较表

器件	VERSION	增益	封装引线
			SOT-23 DDF
INA151	A	1	8
	B	2/3	8
	C	1/2	8
	D	1/4	8

5 引脚配置和功能

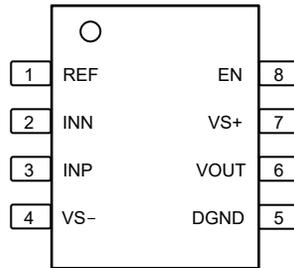


图 5-1. INA151 DDF 封装，8 引脚 SOT-23 (顶视图)

表 5-1. 引脚功能

引脚		类型 ⁽¹⁾	说明
名称	SOT-23		
INN	2	I	负 (反相) 输入
INP	3	I	同相 (非反相) 输入
VOUT	6	O	输出
REF	1	I	基准输入
VS -	4	—	负电源
VS+	7	—	正电源
EN	8	I	启用/禁用输入
DGND	5	—	数字接地

(1) I = 输入，O = 输出

6 规格

6.1 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	VS+、VS- 引脚上的电源	双电源, VS = (VS+) - (VS-)	±1.35	±10	
		单电源, VS = (VS+), (VS-) = GND	2.7	20	
	INP、INN 引脚上的信号输入电压	共模	(V-) - 85	(V-) + 120	V
		差分	-5	5	
	OUT 引脚上的输出电压	(V-) - 0.5	(V+) + 0.3	V	
	REF 引脚上的基准电压	(V-) - 0.5	(V+) + 0.3	V	
V _{DGND}	DGND 引脚上的使能逻辑输入电压	(V-) - 0.5	(V+) + 0.3	V	
	EN 引脚上的使能逻辑输入电压	V _{DGND} + 0.3	(V+) + 0.3	V	
	输出短路 ⁽²⁾	持续			
T _A	工作温度	-55	125	°C	
T _{stg}	贮存温度	-55	125	°C	
	结温		150	°C	
	引线温度 (焊接, 10s)		300	°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) 对 V_S/2 短路。

6.2 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 ⁽¹⁾	±2000
		充电器件模型 (CDM), 符合 JEDEC 规范 JESD22C101 ⁽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。

6.3 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	典型值	最大值	单位
V _S	电源电压	单电源	2.7	10	20
		双电源	±1.35	±5	±10
T _A	额定温度	-40		125	°C

6.4 热性能信息

热指标 ⁽¹⁾		INA151	单位
		DDF (SOT-23)	
		8 引脚	
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	151.5	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳 (顶部) 热阻	77.2	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	71.4	°C/W
ψ_{JT}	结至顶部特征参数	5.5	°C/W
ψ_{JB}	结至电路板特征参数	71.2	°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。

6.5 电气特性

 在 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_S = \pm 5\text{V}$ 、 $R_L = 10\text{k}\Omega$ 、 $V_{\text{REF}} = V_{\text{CM}} = V_S/2$ 时 (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								
V_{OS}	失调电压 (RTI)	$V_S = \pm 5\text{V}$, $V_{\text{CM}} = 0\text{V}$	$G = 1$ (A)		± 0.3	± 0.9	mV	
			$G = 2/3$ (B)		± 0.37	± 1.3		
			$G = 1/2$ (C)		± 0.52	± 1.7		
			$G = 1/4$ (D)		± 0.96	± 3.4		
	失调电压漂移 (RTI)	$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C	$G = 1$ (A)		± 0.1	± 0.6	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
			$G = 2/3$ (B)		± 0.15	± 0.92		
			$G = 1/2$ (C)		± 0.2	± 1.2		
			$G = 1/4$ (D)		± 0.4	± 2.4		
PSRR	电源抑制比 (RTI)	$V_S = \pm 1.35\text{V}$ 至 $\pm 10\text{V}$, $V_{\text{CM}} = (V^-) + 40\text{V}$	$G = 1$ (A)	83			dB	
			$G = 2/3$ (B)	79				
			$G = 1/2$ (C)	76				
			$G = 1/4$ (D)	69				
V_{CM}	共模电压 (1)	$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C		$(V^-) + 4.3$		$(V^-) + 110$	V	
V_{DM}	差模电压 (1)	$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C		-5		5	V	
CMRR	共模电压输出抑制	$V_{\text{CM}} = -0.7\text{V}$ 至 105V , $R_S = 0\Omega$	$G = 1, 2/3, 1/2$	125	137		dB	
			$G = 1/4$	123	135			
RVR	基准电压抑制	$V_{\text{REF}} = -4.7\text{V}$ 至 4.7V	$G = 1, 2/3$		± 50	± 250	$\mu\text{V}/\text{V}$	
		$V_{\text{REF}} = -4.7\text{V}$ 至 4.5V	$G = 1/2$		± 50	± 250		
		$V_{\text{REF}} = -4.7\text{V}$ 至 0.1V	$G = 1/4$		± 50	± 250		
	反向输入保护			$(V^-) - 85$			V	
R_{DM}	差分输入阻抗			45			$\text{k}\Omega$	
R_{CM}	共模输入阻抗	$V_{\text{CM}} = 0\text{V}$ 至 110V		1			$\text{M}\Omega$	
	输出阻抗	EN = 高	请参阅典型特性					Ω
			EN = 低	$G = 1$ (A)		562.5		$\text{k}\Omega$
				$G = 2/3$ (B)		395.83		
				$G = 1/2$ (C)		312.5		
				$G = 1/4$ (D)		187.5		
I_{B}	输入偏置电流	$V_{\text{DM}} = 0\text{mV}$, $I_{\text{B}+}$			21		μA	
		$V_{\text{DM}} = 0\text{mV}$, $I_{\text{B}-}$			21			
		$V_{\text{DM}} = 5\text{V}$, EN = 高(4)			+55/-11			
		$V_{\text{DM}} = 5\text{V}$, EN = 低			+/-30			
	输入偏置电流漂移	$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C			1.8		$\text{nA}/^\circ\text{C}$	
I_{OS}	输入失调电流(2)	$V_{\text{DM}} = 0\text{mV}$			± 250		pA	
	输入失调电流漂移(2)	$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C			0.3		$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
噪声								
e_{N}	电压噪声 (RTI)	$f = 1\text{kHz}$	$G = 1$ (A)		485		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	
			$G = 2/3$ (B)		502			
			$G = 1/2$ (C)		506			
			$G = 1/4$ (D)		576			
增益								
GE	增益误差	$V_{\text{DM}} = \pm 4.7\text{V}$			± 0.005	± 0.025	%	
	增益误差		$G = 1/4$		± 0.015	± 0.04		
	增益误差漂移	$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$			0.05	2	$\text{ppm}/^\circ\text{C}$	
	增益非线性	$V_{\text{DM}} = \pm 4.7\text{V}$			2		ppm	

在 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_S = \pm 5\text{V}$ 、 $R_L = 10\text{k}\Omega$ 、 $V_{\text{REF}} = V_{\text{CM}} = V_S/2$ 时 (除非另有说明)

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
输出							
	输出电压	$R_L = 10\text{k}\Omega$, $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C		$(V^-) + 0.3$		$(V^+) - 0.3$	V
C_L	负载电容	稳态工作模式	$G=1$ (A), $2/3$ (B)		0.5		nF
			$G=1/2$ (C), $1/4$ (D)		0.3		
I_{SC}	短路电流	持续达 $V_S/2$	灌电流		25		mA
			拉电流		17		
频率响应							
BW	带宽, -3dB	$C_L = 100\text{pF}$	$G = 1$ (A)		620		kHz
			$G = 2/3$ (B)		850		
			$G = 1/2$ (C)		1080		
			$G = 1/4$ (D)		1600		
SR	压摆率	$V_{\text{DM}} = \pm 4.7\text{V}$			2.2		V/ μs
t_s	趋稳时间	$V_{\text{DM}} = \pm 4.5\text{V}$ 步进, $V_{\text{CM}} = 5\text{V}$	$G = 1$ (A)	达 0.1%	9		μs
				达 1%	4.8		
			$G = 2/3$ (B)	达 0.1%	7.6		
				达 1%	3.8		
			$G = 1/2$ (C)	达 0.1%	10.2		
				达 1%	2.7		
			$G = 1/4$ (D)	达 0.1%	8.9		
				达 1%	1.9		
	输出使能时间		达 0.1%	15		μs	
	输出禁用时间 ⁽³⁾		达 0.1%	16		μs	
	过载恢复	50% 输入过载			16		μs
电源							
$I_{\text{Q}}(V_{\text{S}+})$	流入 $V_{\text{S}+}$ 的静态电流	$V_{\text{DM}} = 0\text{V}$, EN = 高			430	550	μA
$I_{\text{Q}}(V_{\text{S}-})$	流入 $V_{\text{S}-}$ 的静态电流	$V_{\text{DM}} = 0\text{V}$, EN = 高		-570	-460		μA
I_{Q}	流入 $V_{\text{S}+}/V_{\text{S}-}$ 的静态电流	$V_{\text{DM}} = 0\text{V}$, EN = 低			± 300		μA
	静态电流漂移	$V_{\text{DM}} = 0\text{V}$, $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C			-0.07		μA/ $^\circ\text{C}$
启用逻辑							
V_{EN}	启用输入逻辑低电平	EN = 低, DGND		DGND		DGND + 0.9	V
	启用输入逻辑高电平	EN = 高, DGND		DGND + 2		DGND + 5	V
	启用输入电流	$V_{\text{EN}} = \text{DGND} + 5\text{V}$			1.3		μA
V_{DGND}	DGND 电压	$(V_{\text{S}+}) - (V_{\text{S}-}) \leq 12.7\text{V}$		$(V_{\text{S}-})$		$(V_{\text{S}+}) - 2.7$	V
V_{DGND}	DGND 电压	$(V_{\text{S}+}) - (V_{\text{S}-}) > 12.7\text{V}$		$(V_{\text{S}-})$		$(V_{\text{S}-}) + 10$	V

- 请将两个输入保持在最低要求以上。
- 根据设计指定。
- 输出禁用时间取决于器件的输出网络, 该网络因型号和连接的负载而异。有关更多信息, 请参阅“典型应用”。
- 非对称输入偏置电流, 流入器件的正 I_B , 流出器件的负 I_B 。有关更多信息, 请参阅“低输入偏置电流”章节。

6.6 典型特性

条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_S = \pm 5\text{V}$ 、 $R_L = 10\text{k}\Omega$ 、 $C_L = 10\text{pF}$ 、 $V_{REF} = V_S/2$ 、 $V_{CM} = (V_{IN+} + V_{IN-})/2 = V_S/2$ ，且 $G = 1$ (除非另有说明)

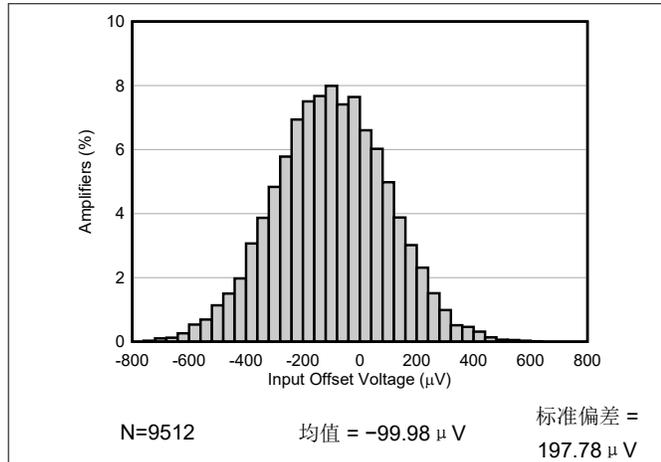


图 6-1. 失调电压的典型分布 (以输入为基准) (G=1)

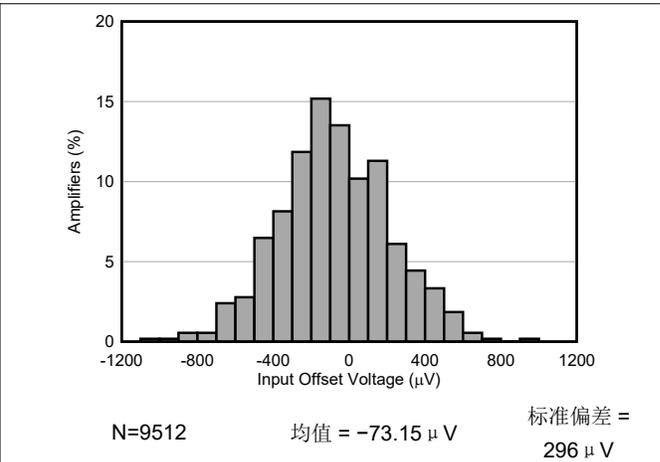


图 6-2. 失调电压的典型分布 (以输入为基准) (G=2/3)

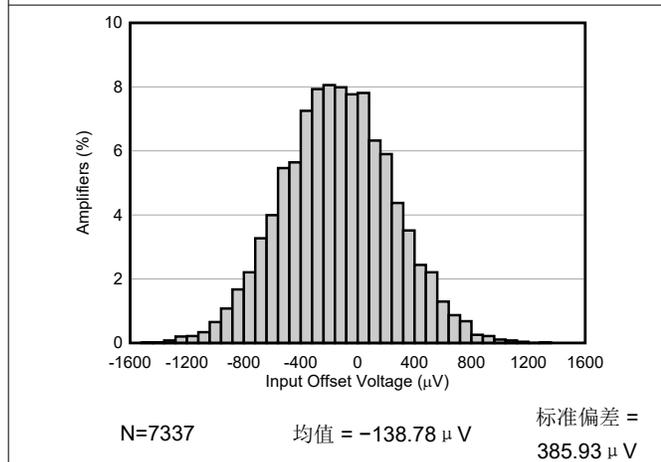


图 6-3. 失调电压的典型分布 (以输入为基准) (G=1/2)

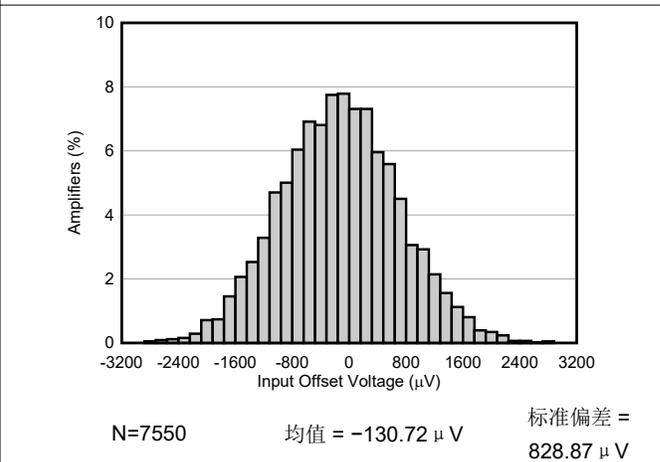


图 6-4. 失调电压的典型分布 (以输入为基准) (G=1/4)

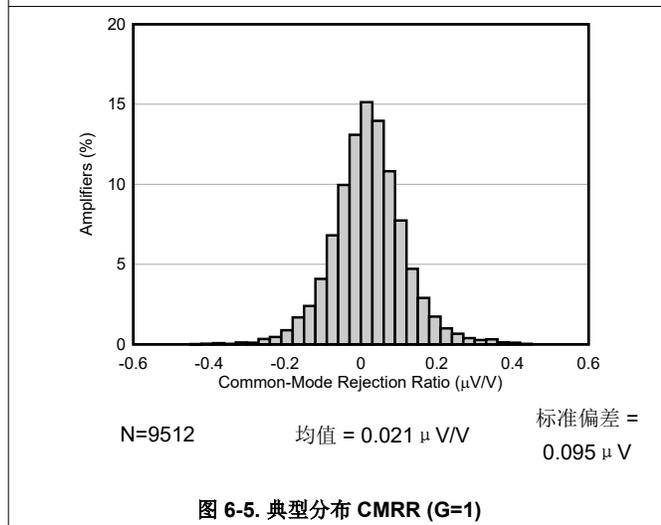


图 6-5. 典型分布 CMRR (G=1)

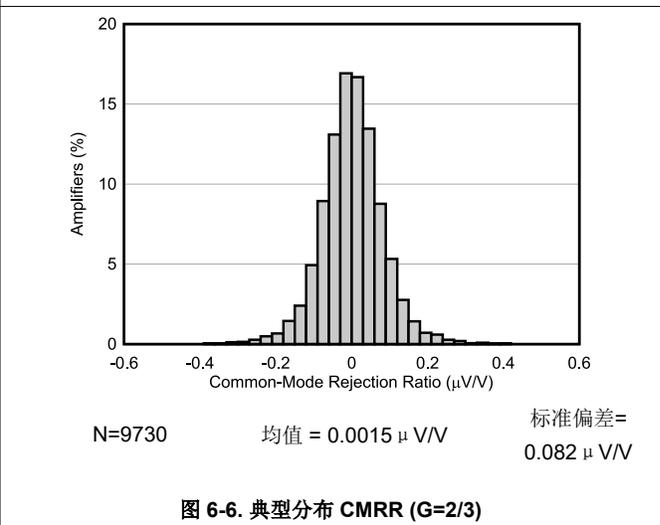
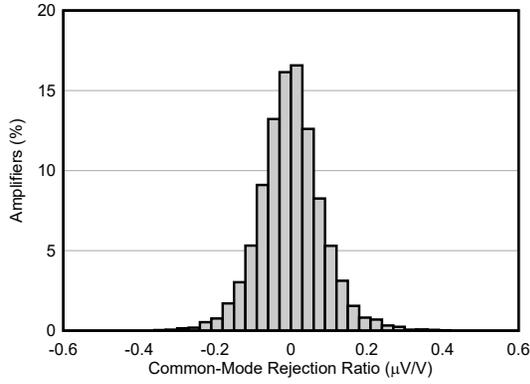


图 6-6. 典型分布 CMRR (G=2/3)

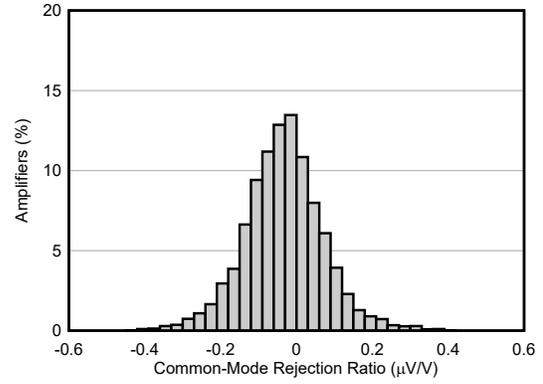
6.6 典型特性 (续)

条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_S = \pm 5\text{V}$ 、 $R_L = 10\text{k}\Omega$ 、 $C_L = 10\text{pF}$ 、 $V_{REF} = V_S/2$ 、 $V_{CM} = (V_{IN+} + V_{IN-})/2 = V_S/2$ ，且 $G = 1$ (除非另有说明)



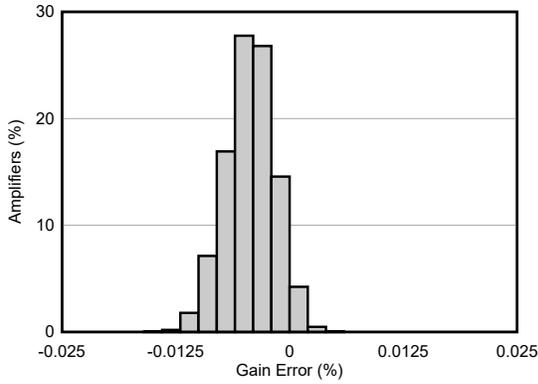
N=7337 均值 = 0.0005 $\mu\text{V/V}$ 标准偏差 = 0.083 $\mu\text{V/V}$

图 6-7. 典型分布 CMRR (G=1/2)



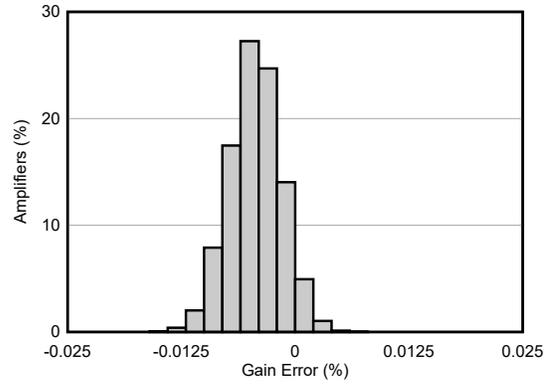
N=7550 均值 = -0.033 $\mu\text{V/V}$ 标准偏差 = 0.104 $\mu\text{V/V}$

图 6-8. 典型分布 CMRR (G=1/4)



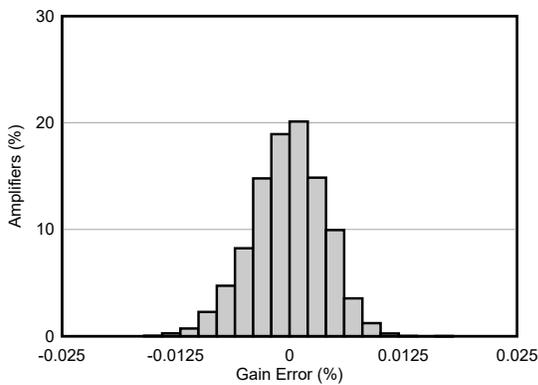
N=9512 均值 = -0.0043% 标准偏差 = 0.0027%

图 6-9. 增益误差的典型分布 (G=1)



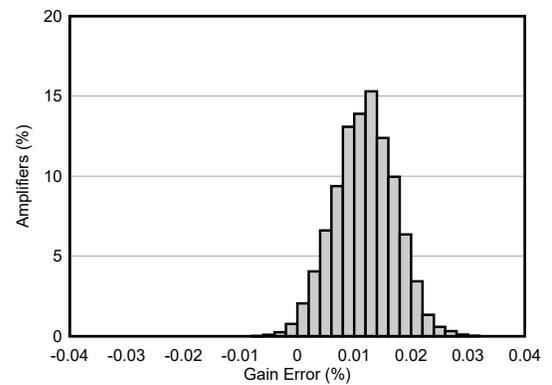
N=9730 均值 = -0.0044% 标准偏差 = 0.0028%

图 6-10. 增益误差的典型分布 (G=2/3)



N=7337 均值 = -0.0001% 标准偏差 = 0.0039%

图 6-11. 增益误差的典型分布 (G=1/2)



N=7337 均值 = 0.0118% 标准偏差 = 0.0053%

图 6-12. 增益误差的典型分布 (G=1/4)

6.6 典型特性 (续)

条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_S = \pm 5\text{V}$ 、 $R_L = 10\text{k}\Omega$ 、 $C_L = 10\text{pF}$ 、 $V_{\text{REF}} = V_S/2$ 、 $V_{\text{CM}} = (V_{\text{IN}+} + V_{\text{IN}-})/2 = V_S/2$ ，且 $G = 1$ (除非另有说明)

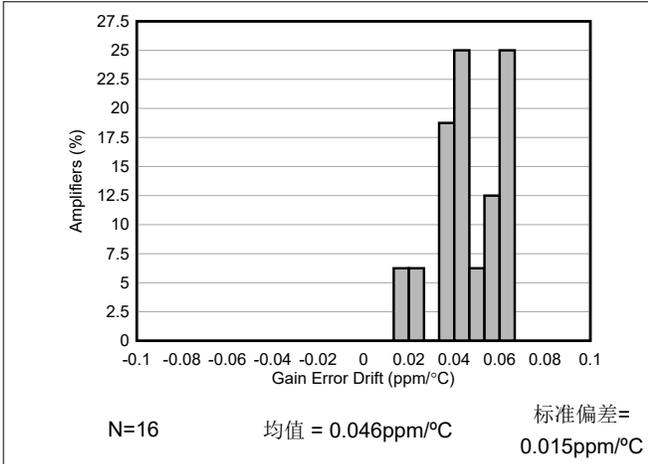


图 6-13. 增益误差漂移的典型分布 (G=2/3)

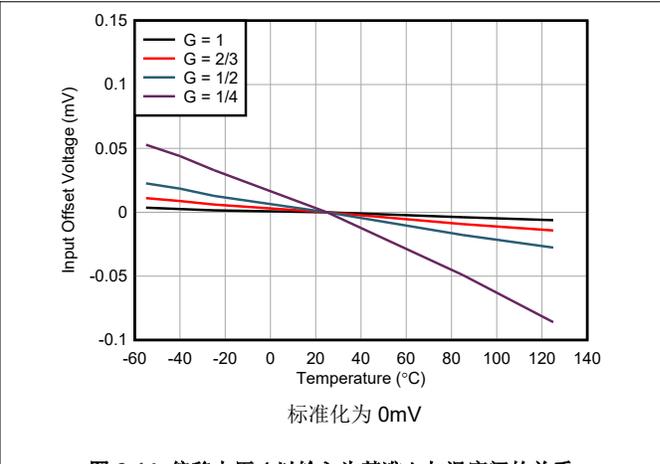


图 6-14. 偏移电压 (以输入为基准) 与温度间的关系

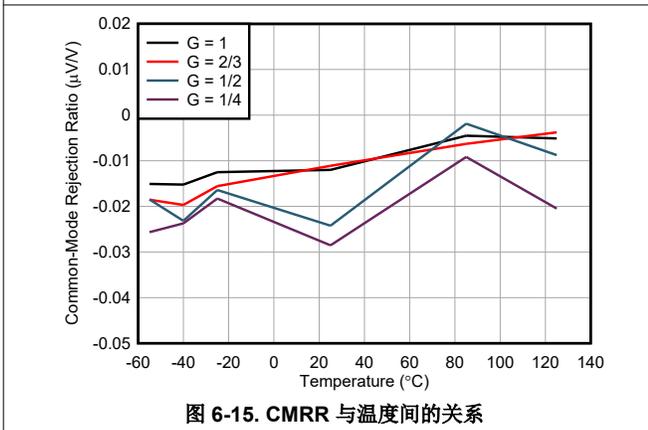


图 6-15. CMRR 与温度间的关系

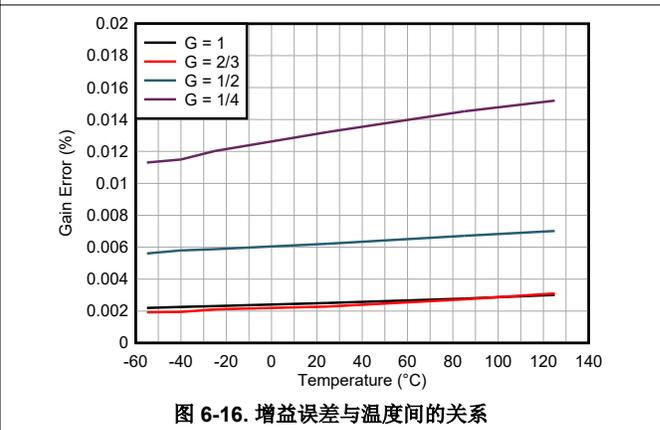


图 6-16. 增益误差与温度间的关系

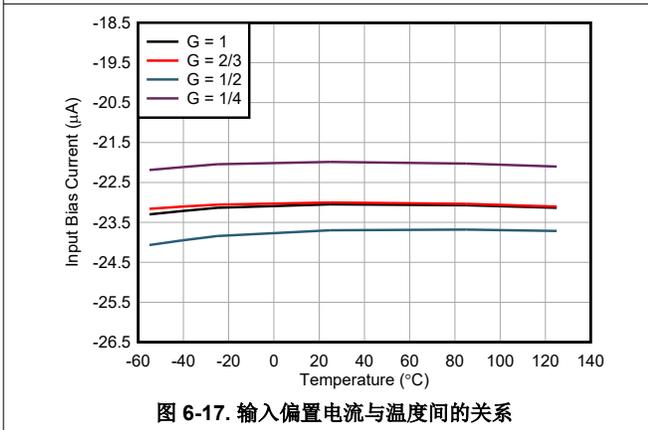


图 6-17. 输入偏置电流与温度间的关系

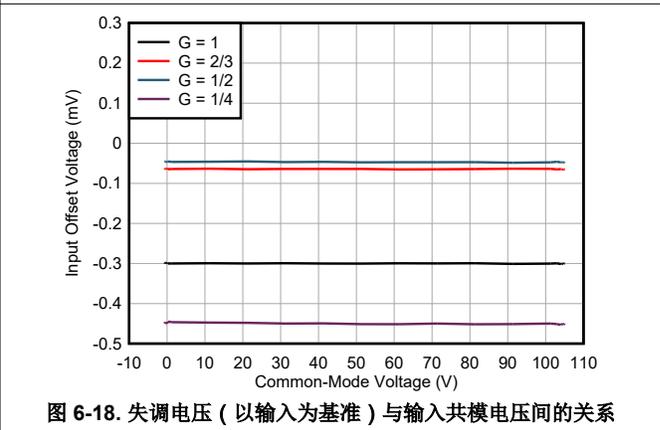


图 6-18. 失调电压 (以输入为基准) 与输入共模电压间的关系

6.6 典型特性 (续)

条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_S = \pm 5\text{V}$ 、 $R_L = 10\text{k}\Omega$ 、 $C_L = 10\text{pF}$ 、 $V_{REF} = V_S/2$ 、 $V_{CM} = (V_{IN+} + V_{IN-})/2 = V_S/2$ ，且 $G = 1$ (除非另有说明)

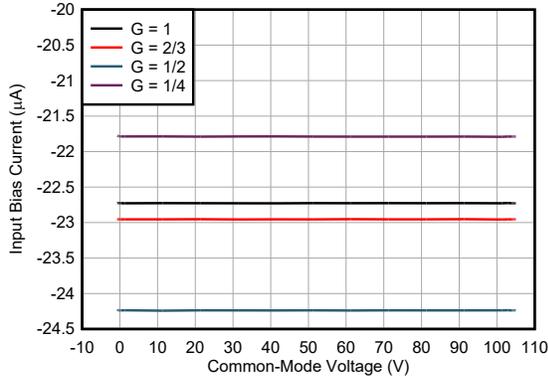


图 6-19. 输入偏置电流与输入共模电压间的关系

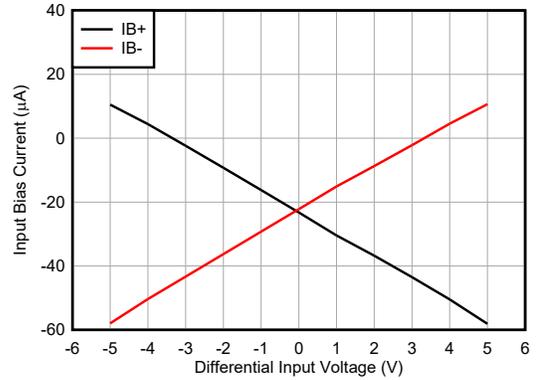


图 6-20. 输入偏置电流与输入差分电压间的关系

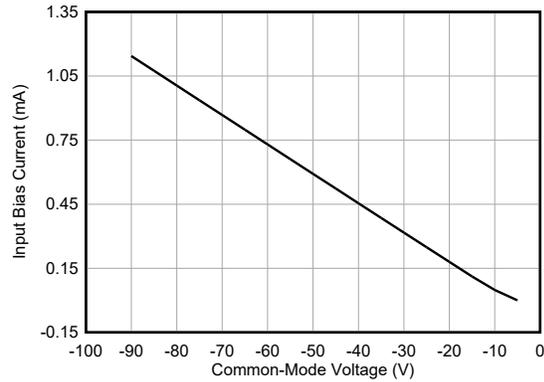


图 6-21. 输入偏置电流与反向输入共模电压间的关系

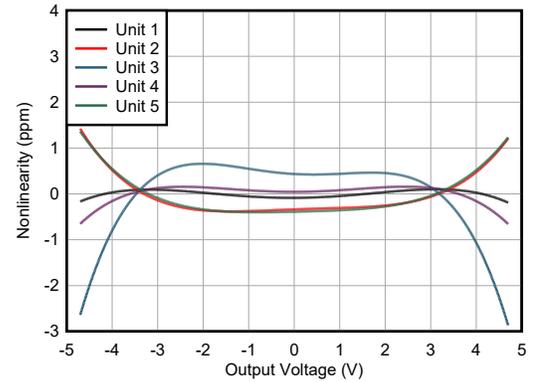


图 6-22. 非线性与输出电压间的关系 (G = 1)

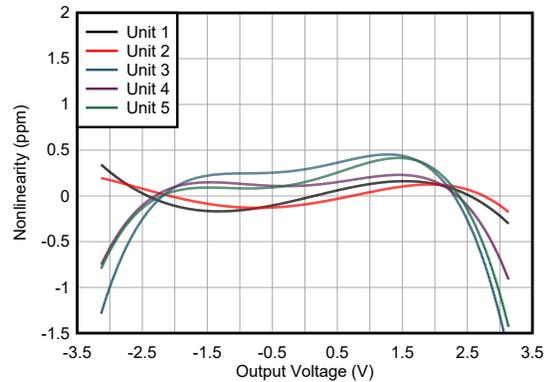


图 6-23. 非线性与输出电压间的关系 (G = 2/3)

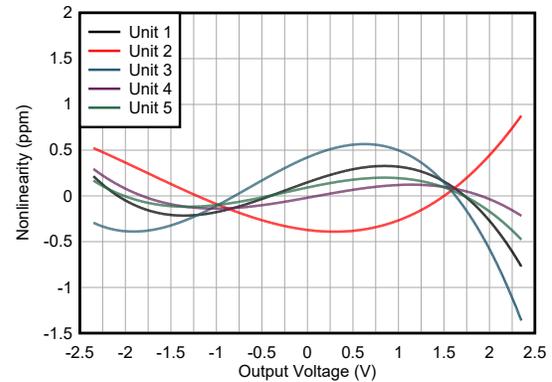


图 6-24. 非线性与输出电压间的关系 (G = 1/2)

6.6 典型特性 (续)

条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_S = \pm 5\text{V}$ 、 $R_L = 10\text{k}\Omega$ 、 $C_L = 10\text{pF}$ 、 $V_{\text{REF}} = V_S/2$ 、 $V_{\text{CM}} = (V_{\text{IN}+} + V_{\text{IN}-})/2 = V_S/2$ ，且 $G = 1$ (除非另有说明)

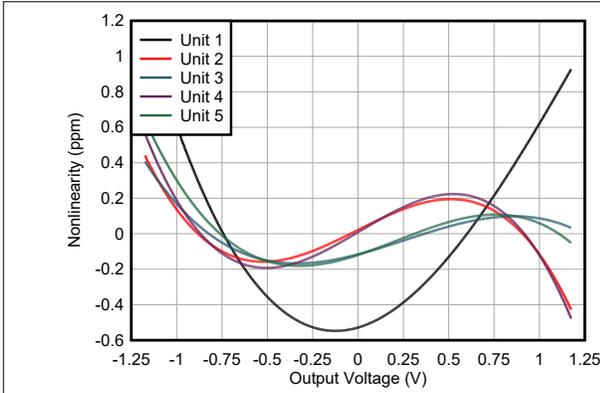


图 6-25. 非线性与输出电压间的关系 ($G = 1/4$)

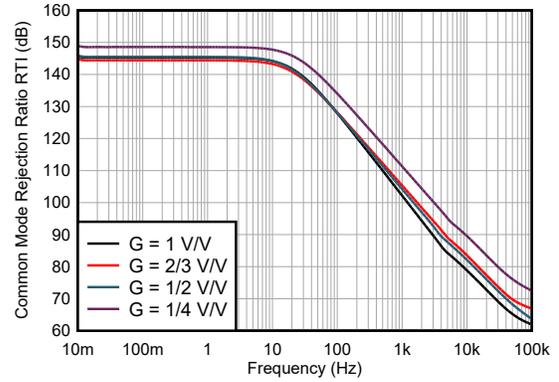


图 6-26. CMRR (以输入为参考) 与频率间的关系

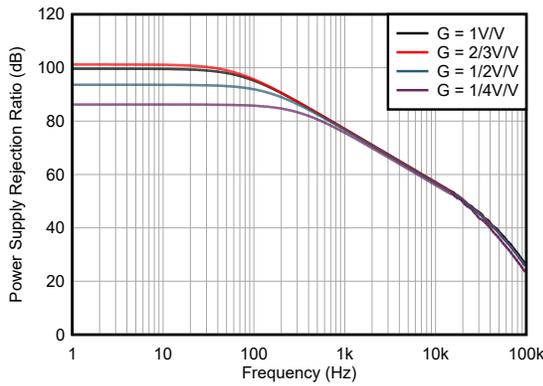


图 6-27. AC PSRR+ (以输入为基准) 与频率间的关系

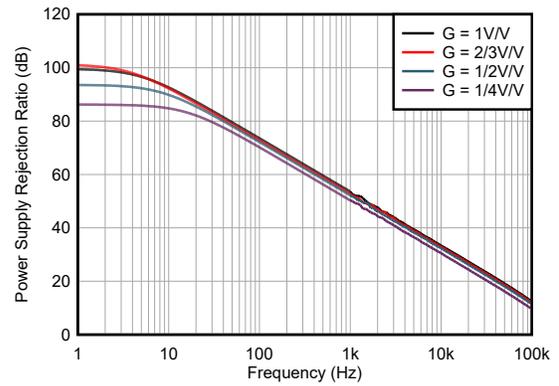


图 6-28. AC PSRR- (以输入为基准) 与频率间的关系

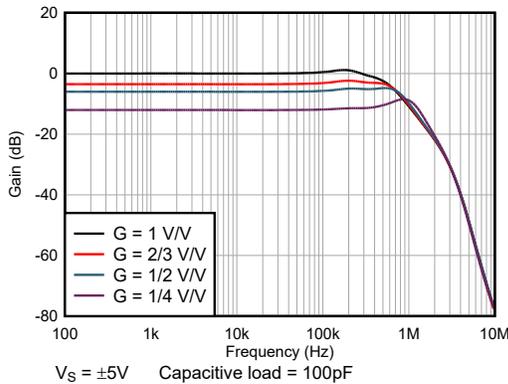


图 6-29. 闭环增益与频率间的关系

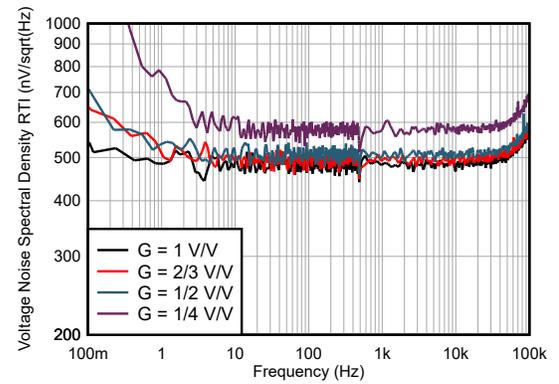


图 6-30. 输入参考电压噪声频谱密度

6.6 典型特性 (续)

条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_S = \pm 5\text{V}$ 、 $R_L = 10\text{k}\Omega$ 、 $C_L = 10\text{pF}$ 、 $V_{\text{REF}} = V_S/2$ 、 $V_{\text{CM}} = (V_{\text{IN}+} + V_{\text{IN}-})/2 = V_S/2$ ，且 $G = 1$ (除非另有说明)

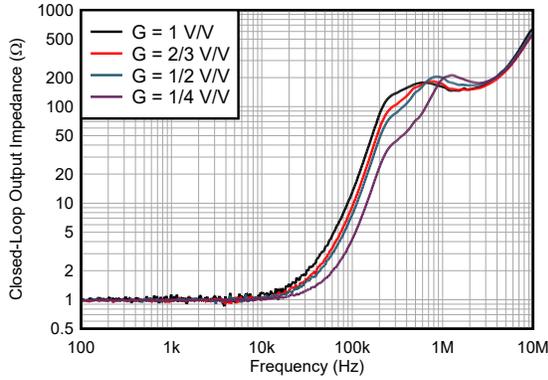
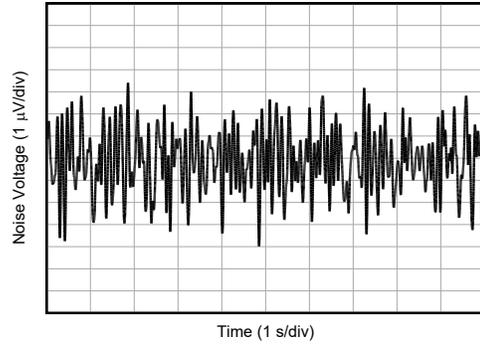
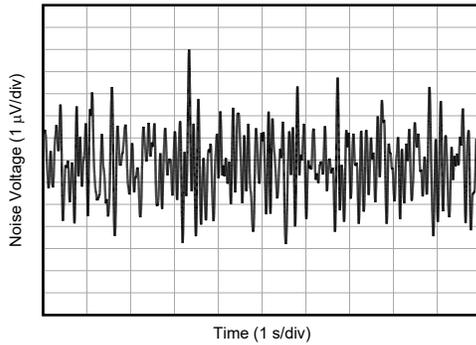


图 6-31. 输出阻抗与频率间的关系



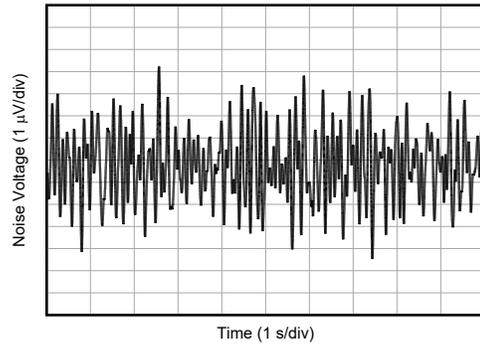
$G = 1\text{ V/V}$

图 6-32. 以输入为基准的 0.1Hz 至 10Hz 时域电压噪声， $G = 1\text{V/V}$



$G = 2/3\text{ V/V}$

图 6-33. 以输入为基准的 0.1Hz 至 10Hz 时域电压噪声， $G = 2/3\text{V/V}$



$G = 1/2\text{ V/V}$

图 6-34. 以输入为基准的 0.1Hz 至 10Hz 时域电压噪声， $G = 1/2\text{V/V}$

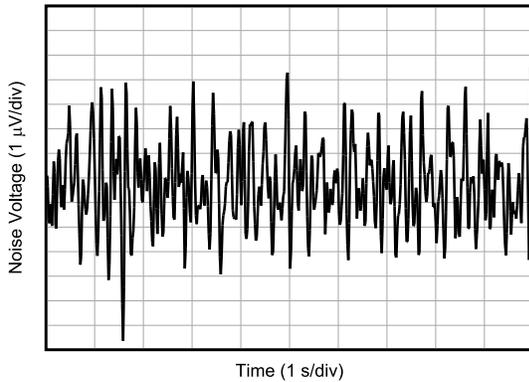
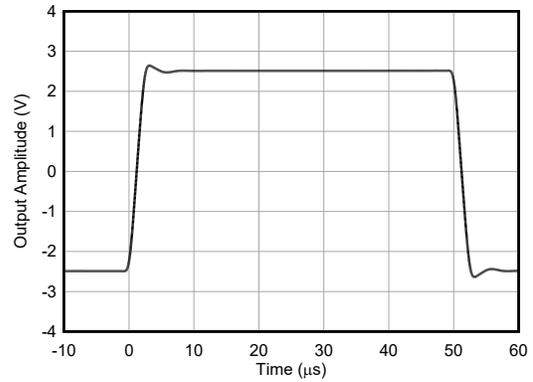


图 6-35. 以输入为基准的 0.1Hz 至 10Hz 时域电压噪声， $G = 1/4\text{V/V}$

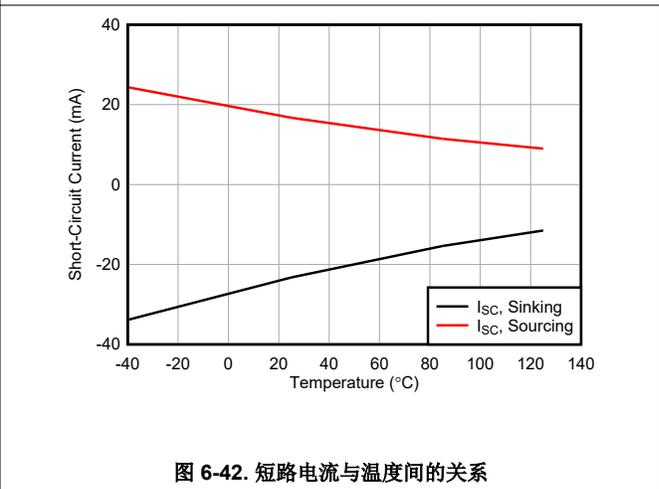
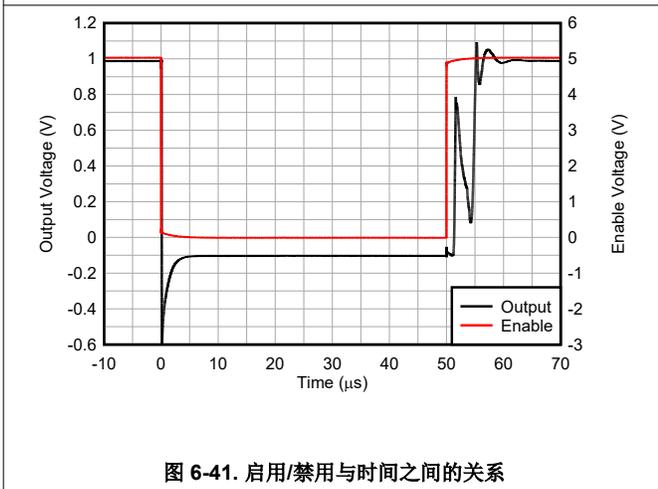
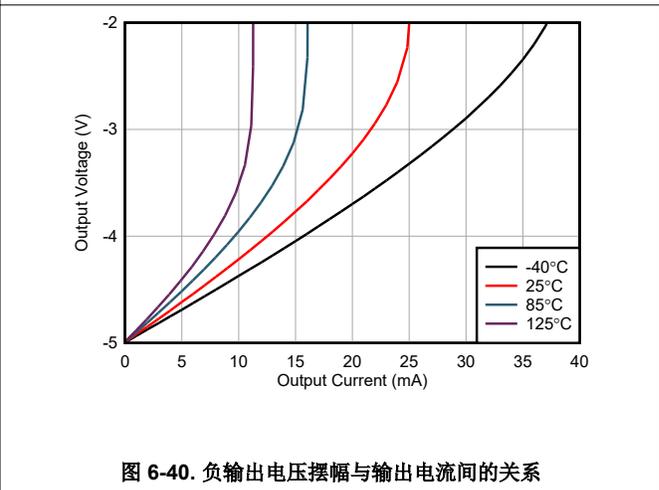
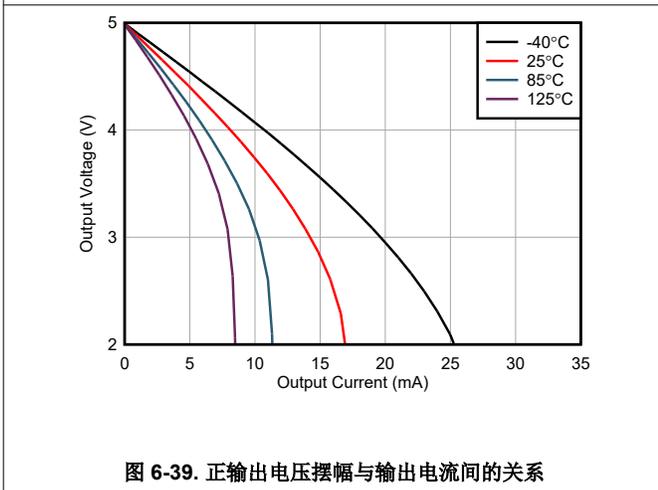
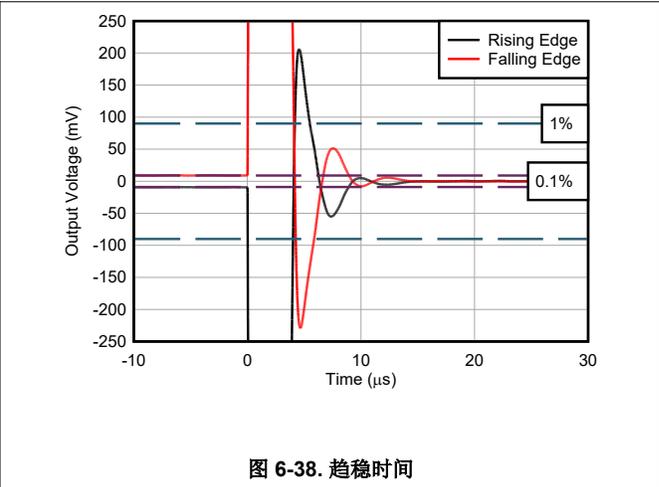
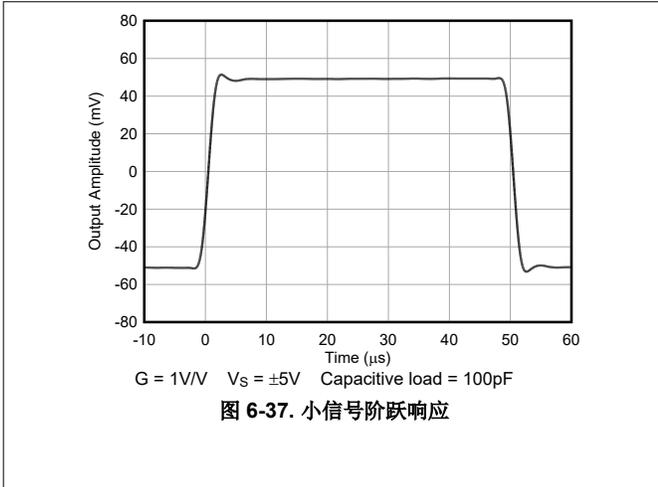


$G = 1\text{V/V}$

图 6-36. 大信号阶跃响应

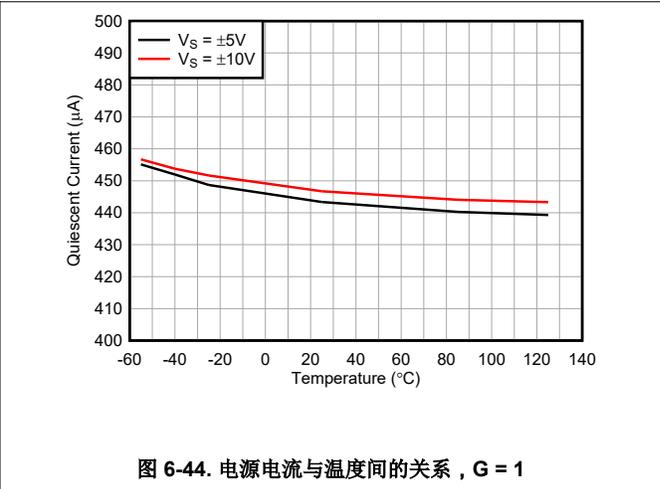
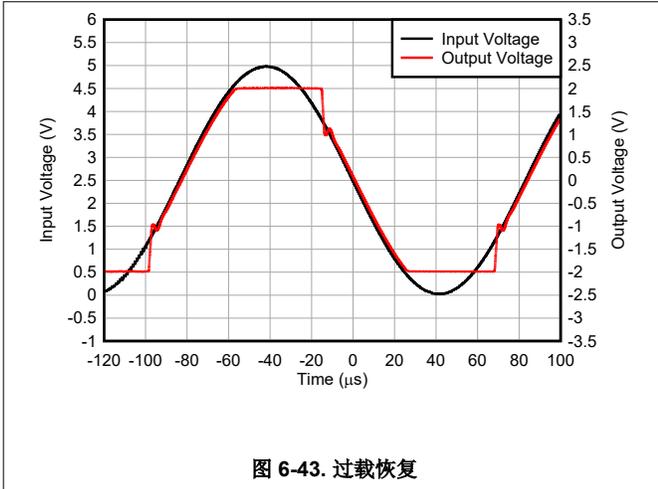
6.6 典型特性 (续)

条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_S = \pm 5\text{V}$ 、 $R_L = 10\text{k}\Omega$ 、 $C_L = 10\text{pF}$ 、 $V_{REF} = V_S/2$ 、 $V_{CM} = (V_{IN+} + V_{IN-})/2 = V_S/2$ ，且 $G = 1$ (除非另有说明)



6.6 典型特性 (续)

条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_S = \pm 5\text{V}$ 、 $R_L = 10\text{k}\Omega$ 、 $C_L = 10\text{pF}$ 、 $V_{REF} = V_S/2$ 、 $V_{CM} = (V_{IN+} + V_{IN-})/2 = V_S/2$ ，且 $G = 1$ (除非另有说明)



7 详细说明

7.1 概述

7.1.1 INA151 跨导架构概述

INA151 采用基于跨导的架构，使用电流反馈放大器拓扑，实现 $20\ \mu\text{A}$ 的低偏置电流，以及比负电源高 110V 的共模电压。图 7-1 中所示的方框图演示了此架构的双级方法。在第一级中，差分电压通过 $R1$ 转换为差分电流。差分输出电流进一步转换成第二个放大器级中的单端输出电压。

闭环电压增益 $V_{\text{OUT}}/V_{\text{IN}}$ 由内部精密电阻器 $R3$ 与 $R1$ 的比值决定。因此，增益精度主要受信号通路之间电阻器匹配误差的限制，精密薄膜电阻器工艺对器件性能至关重要。

这些主要架构特性使得 INA151 非常适合串行堆叠的电池电芯监测应用，可实现多达 20 节串联电池的精准电压测量。

INA151 提供四种增益值以满足不同应用需求。INA151A 版本提供的增益选项为 1，而 INA151B、INA151C 和 INA151D 版本提供的增益选项分别为 $2/3$ 、 $1/2$ 和 $1/4$ 。多种增益值旨在适配不同 ADC 的满量程输入范围，最大化测量分辨率与动态范围。

7.1.2 多路复用能力

集成式启用/禁用控制可实现高阻态输出，便于实现多路复用工作模式。该架构支持多个 INA151 器件与公共输出节点的并联、通过数字使能控制即可在单 ADC 采样应用中顺序选通放大器。

INA151 提供包括 SOT-23 在内的行业标准封装。

7.2 功能方框图

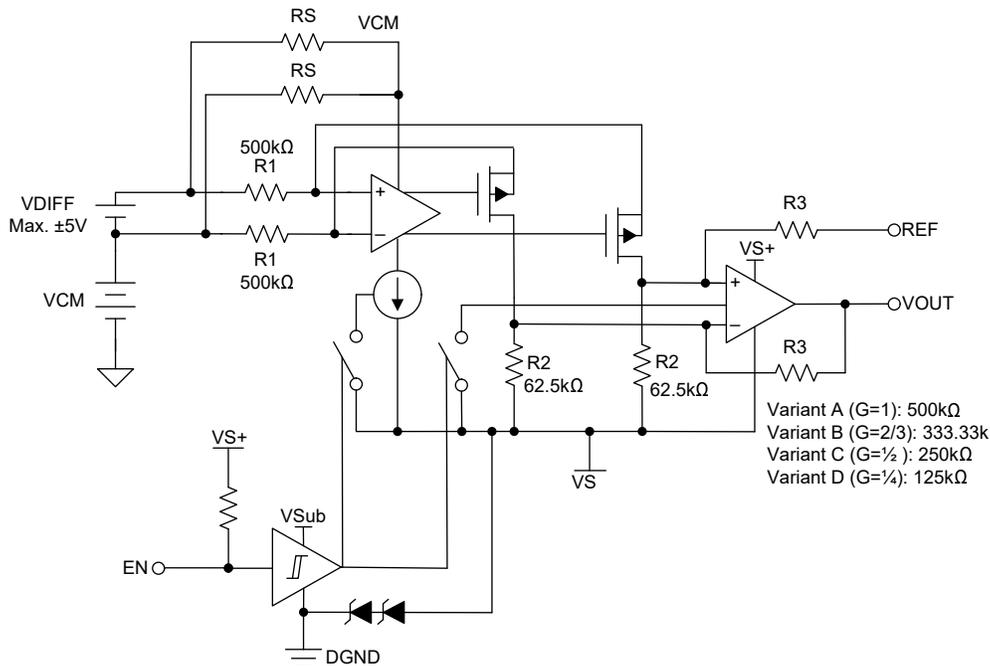


图 7-1. INA151 简化内部原理图

7.3 特性说明

7.3.1 输入共模电压范围

INA151 输入共模电压范围相对于负电源为 4.3V 到 110V，并具有 140dB（典型值）的高直流 CMRR。

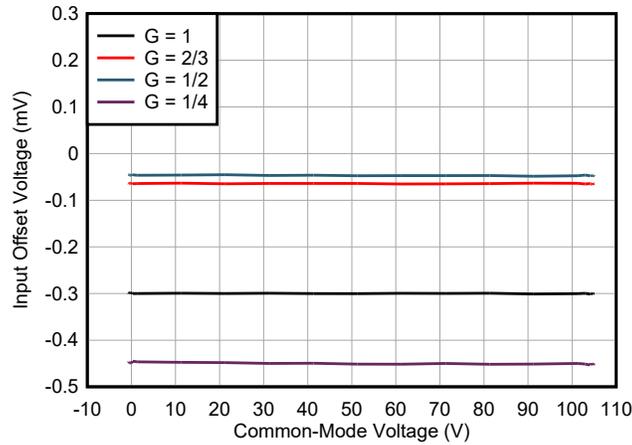


图 7-2. 失调电压 (以输入为基准) 与输入共模电压间的关系

图 7-2 概述了 INA151 的线性工作区间。当在 V_{CM} 和 V_{OUT} 图的限制范围内运行时，预期可以获得良好的共模抑制。

INA151 可防止低至 $-85V$ 的负共模电压。当多节电池堆叠连接并且意外发生误接线时，这会很有用。在 $-85V$ 的负共模电压下，反向电流受最大 $5mA$ 的输入电阻器和电源电阻器的限制。

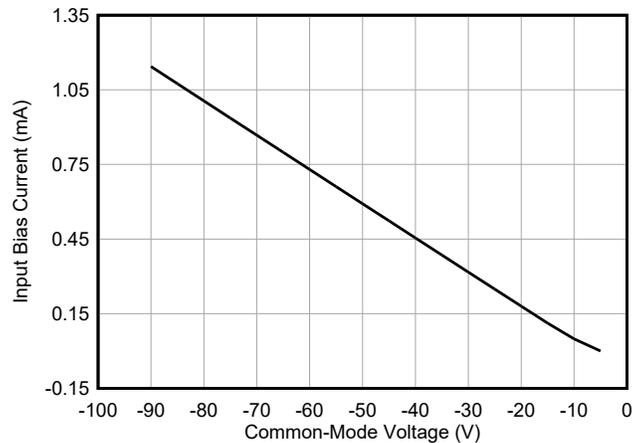


图 7-3. 输入偏置电流与反向输入共模电压间的关系

如果外部电源无法灌入反向电流，则会通过 DGND 引脚提供额外的反向路径。

为了在线性区域中运行输入放大器，需要一个比负电源高 4.3V 的最小输入共模电压。

7.3.2 低输入偏置电流

INA151 中的拓扑内置一个输入偏置电流级，该电流级需要 $20\ \mu\text{A}$ 的典型共模偏置电流才能在非常高的共模电压下运行。如 图 7-4 所示，偏置级设计使共模偏置电流在整个共模电压范围内保持恒定，从而将对精密电压监测系统造成的误差降至最低。

INA151 中的偏置电路包括具有 $45\text{k}\Omega$ 有效差分输入阻抗的输入引脚间的电阻。该差分阻抗会产生与输入差分电压成正比的差分输入偏置电流，其流入和流出器件，如 图 7-5 所示。每个输入引脚的总输入偏置电流是从输入到基准的共模漏电流 IBCM 以及差分电流 IBDIFF 的总和。

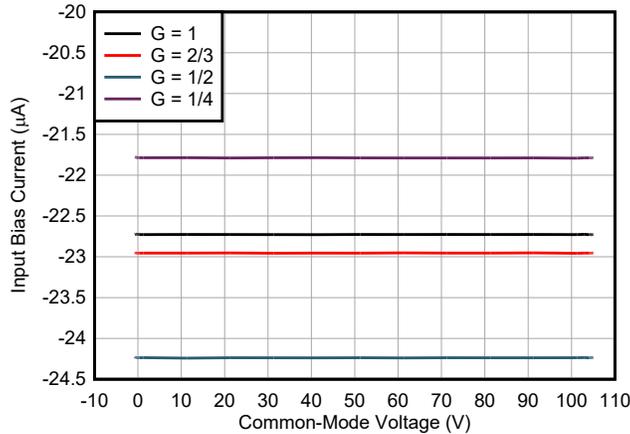


图 7-4. INA151 输入偏置电流与共模电压间的关系

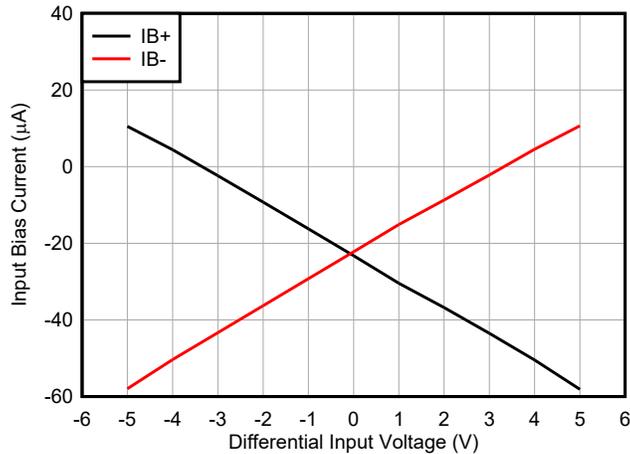


图 7-5. INA151 输入偏置电流与差分输入电压间的关系

7.3.3 $G=1/4$ (INA151D) 时的基准电压范围

INA151D 中内部放大器的拓扑根据电源电压、共模输入电压和基准电压对线性性能产生了限制。图 7-6 展示了这种相互依赖关系，阐明了如果基准电压超出线性工作范围，（以输入为基准）失调电压如何以非线性方式增加。

对于 $V_S = \pm 5V$ 的电源配置和共模输入电压设置为 $1/2 V_S$ 的情况， V_{REF} 必须保持在或低于 GND（低至负电源，因此为 $-5V$ ），以实现线性工作范围。

对于 $V_S = \pm 10V$ 且共模输入电压设置为 $1/2 V_S$ 的电源配置， V_{REF} 必须保持在 $2V$ 或以下（低至负电源电压，因此为 $-10V$ ）才能实现线性工作范围。

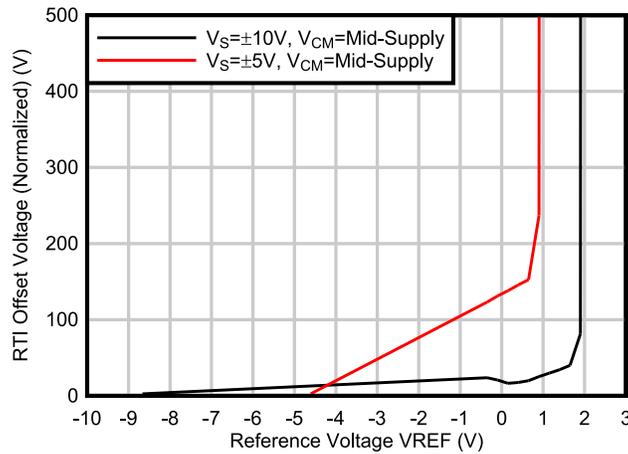


图 7-6. INA151D 的失调电压 (RTI) 与基准电压间的关系

7.4 器件功能模式

INA151 有两种运行模式：当使能引脚驱动至逻辑高电平时启用；当使能引脚驱动至逻辑低电平且输出级关闭时禁用。当器件启用后，该器件消耗的典型消耗电流为 $450 \mu A$ 。禁用后，典型 $300 \mu A$ 下的电流消耗降低 30%。要电源电压处于建议的工作电压范围 $2.7V (\pm 1.35V)$ 至 $20V (\pm 10V)$ 内，器件就会正常工作。INA151 的工作温度范围为 $-40^\circ C$ 至 $125^\circ C$ 。

7.4.1 输出启用和禁用

INA151 包括一个使能引脚 (EN)，可启用或禁用放大器的输出级。当输出级被禁用时，输出被设置为高阻抗状态。

此功能可用于在具有多个通道的堆叠系统中执行多路复用功能，无需外部多路复用器。通过依次一次启用一个器件，同时保持其他器件处于禁用状态，可以通过单个 ADC 输入直接对每个输出进行采样。此外，禁用功能可将静态电流降低 30%，从而在功耗敏感型应用中支持节能运行。

当使能引脚被驱动为逻辑高电平 (EN=HIGH) 时，器件需要进行内部偏置，典型稳定延时为 $15 \mu s$ ，直至误差进入 0.1% 误差带。禁用器件时，典型关断延时为 $16 \mu s$ 。在禁用一个通道与启用下一个通道之间，应预留足够的延时。

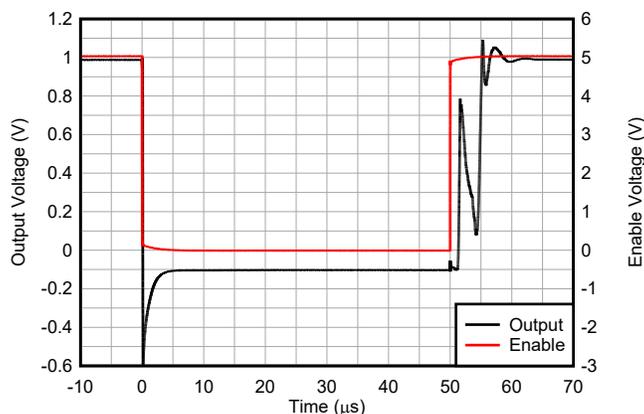


图 7-7. INA151 启用/禁用时间

EN 引脚以 DGND 为基准。如果处于悬空状态，EN 引脚会在内部上拉以启用该器件。如果用例需要默认禁用模式，请使用最大 $150\text{k}\Omega$ 的下拉电阻器。

如果由外部控制，EN 引脚必须提供介于 $\text{DGND} + 2\text{V}$ 和 $\text{DGND} + 5\text{V}$ 之间的电压。

由于内部钳位机制，DGND 引脚必须连接到有效的工作范围。图 7-8 展示了三个不同电源配置用例的 DGND 有效范围。如果器件使用 $\pm 10\text{V}$ 的双电源供电（用例 1），则 DGND 引脚可以连接在 -10V 和 0V 之间。如果器件使用 $\pm 5\text{V}$ 的双电源供电（用例 2），则 DGND 引脚可以连接在 -5V 和 2.3V 之间。在 $+5\text{V}$ 单电源条件下，DGND 有效范围为 0V 至 2.3V 。

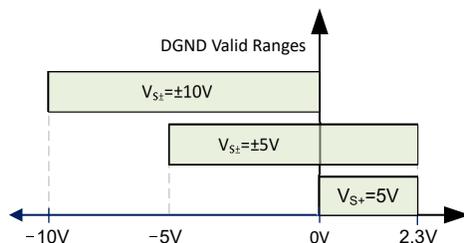


图 7-8. INA151 DGND 有效范围

如果不需要使能功能，则在 EN 引脚与 DGND 之间连接一个 47pF 的电容。

8 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。

8.1 应用信息

8.1.1 基准引脚

INA151 的输出电压是根据基准引脚 (REF) 上的电压确定的。通常在双电源运行中，REF 引脚连接到系统地。但是，在单电源运行中，将输出信号偏移到精确的 $1/2 V_s$ 电平是必需的 (例如，+5V 电源环境中的 1.25V 或 2.5V)。

为实现这一电平转换，必须将一个低阻抗电压源连接到 REF 引脚以对输出执行电平转换，从而使 INA151 能够驱动单电源 ADC。

这是使用外部基准缓冲器实现的，该缓冲器配置为单位增益、电压跟随器配置，如图 8-1 所示。考虑到 INA151D ($G=1/4$) 施加了节 7.3.3 中所述的运行限制。

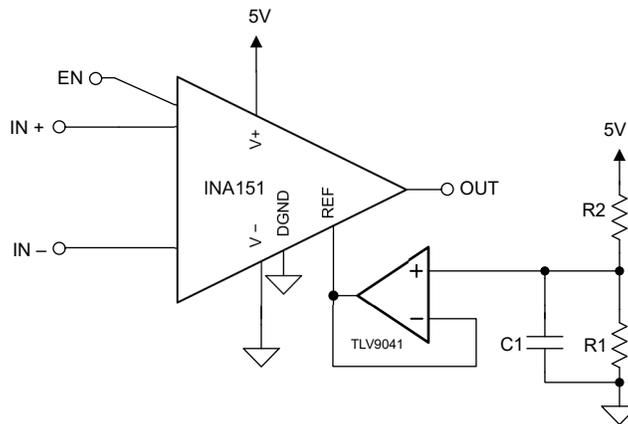


图 8-1. INA151 采用外部基准缓冲器

8.2 典型应用

8.2.1 使用 INA151 进行电池监控

INA151 是一款电压监测差分放大器，可处理较大的差分电压（高达 $\pm 5V$ ），同时在高共模电压下提供出色的共模抑制性能（典型值为 140dB），相对于负电源高达 110V。该器件提供启用功能以及出色的增益误差性能（典型值为 0.01%）。

根据上述规格，该器件非常适合串联堆叠式电池电芯测试系统。在这些应用中，每个电池都连接到放大器，以精确监测每个电池的充电和放电状态。通常，下游 ADC 用于后处理。

在 16 节电池堆叠的应用中，典型的方法是连接外部多路复用器，该外部多路复用器进一步连接到双通道或四通道 ADC。

INA151 的优势在于该器件提供启用功能，给定 16 个通道的输出可以短接，并直接连接到下游 ADC。使用来自下游 MCU 的 GPIO 引脚可以轻松选择每个放大器，并且无需外部多路复用电路。

图 8-2 展示了一个示例电路，该电路监控串联电池电压堆叠的 16 节电池的电压并可连接到 C2000 MCU 的集成 ADC。

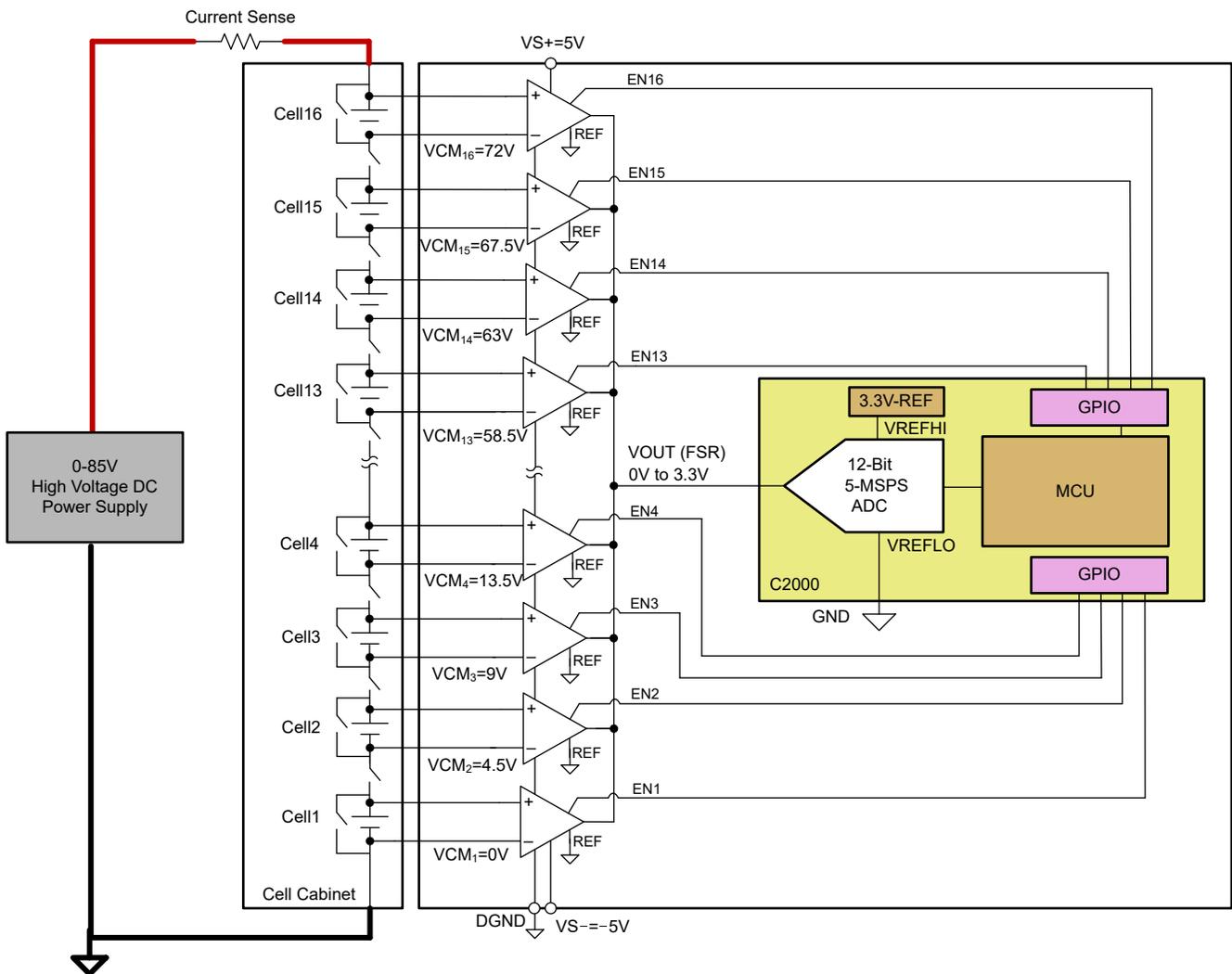


图 8-2. 16 节堆叠式电池电压监测电路

8.2.1.1 设计要求

对于该应用，设计要求如表 8-1 所示。

表 8-1. 设计要求

INA151 的说明	值
电源电压	$V_{S\pm} = \pm 5V$ ，针对 Cell1Cell16
电池电芯电压	$V_{BAT} = 0V$ 至 $4.5V$
共模电压	$V_{CM} = 0V$ 至 $67.5V$
输出电压	$V_{OUT} = 3.3V$
启用时间	$t_{en} = 13 \mu s$
滤波	$R_{filt} = 1.2k \Omega$ ， $C_{filt} = 150pF$
精度目标	在 $T_A=25^\circ C$ 时为 0.1%
C2000F280025C 中 ADC 的说明	值
ADC 满标量程	$V_{ADC(fs)} = V_{OUT} = 3.3V$
采集时间	$t_{acq} = 1 \mu s$
转换时间	$t_{conv} = 0.2 \mu s$
每个通道的采样率	4.4kSPS
分辨率	12 位 (4096 代码)
LSB 大小	$+5V / 4096 = 805.66 \mu V/LSB$

8.2.1.2 详细设计过程

后续各节概述了直流精度分析直流精度计算的指南和计算、RC 滤波器设计注意事项中外部 RC 滤波的设计注意事项和 ADC 输入保护建议。本分析针对在给定设计要求下，INA151B 版搭配图 8-2 C2000 (TMS320F280025) 微控制器中 ADC 的应用电路展开。

8.2.1.2.1 直流精度计算

表 8-2. INA151B - FSR 为 4.5V 时的典型和最大直流精度计算

误差源	FSR = 4.5V 时的误差计算	规格 (典型值)	误差 (PPM)	规格 (最大值)	误差 (PPM)
电池 1 在 25°C 时的绝对精度					
输入级失调电压 V_{OSI}	$\frac{V_{OSI}}{FSR} \times 10^6$	200 μV	44.4	1200 μV	266.7
共模抑制比 $CMRR_{ERROR}$	$10 \frac{V_{CM}}{CMRR}, V_{CM} = 0V$	140dB	0	125dB	0
来自 INA151 GE 的增益误差	$GE\% \times 10^6$	0.01%	10	0.03	30
总误差 (RSS)	$\sqrt{V_{OSI}^2 + GE^2 + CMRR_{ERROR}^2}$		45.1		268.3
电池 16 在 25°C 时的绝对精度					
输入级失调电压 V_{OSI}	$\frac{V_{OSI}}{FSR} \times 10^6$	200 μV	44.4	1200 μV	268.3
共模抑制比 $CMRR_{ERROR}$	$10 \frac{V_{CM}}{CMRR}, V_{CM} = 67.5V$	140dB	1.5	125dB	37.9
来自 INA151 GE 的增益误差	$GE\% \times 10^6$	0.01%	10	0.03%	30
总误差 (RSS)	$\sqrt{V_{OSI}^2 + GE^2 + CMRR_{ERROR}^2}$		45.5		272.6

表 8-3. C2000-xxF25 ADC 的典型误差预算

误差源	参数 (典型值)	CELL1 的电压误差 (ppm)	CELL16 的电压误差 (ppm)
ADC	失调电压	488	488
	增益误差	688 (3.1V 时)	688 (3.1V 时)
	INL	244	244
ADC 典型误差		878	878
总计典型误差 (RSS)		902	902

根据上述误差预算分析，主要误差源是内部 ADC，其典型误差值为 878ppm，是 INA151 在 45ppm 下误差的二十倍以上。考虑使用 RSS (平方和根) 计算误差，可得出总误差为 902ppm，该误差与满量程的 0.09% 精度相关。

8.2.1.2.2 RC 滤波器设计注意事项

SAR ADC 在采样期间会使用采样电容，产生高幅度、快速上升的电流瞬态，这些瞬态会反向传递至驱动放大器，导致电路不稳定或噪声耦合。在放大器输出与 ADC 输入之间加入 RC 滤波器，可以隔离这些回馈电流，为瞬时电流需求提供电荷缓冲，并保持放大器稳定。该滤波器同时具备抗混叠保护与带宽限制功能，可优化信噪比，同时确保在 ADC 采集时间窗口内实现适当稳定。

本节将以 $\pm 0.5\text{LSB}$ 典型精度指标为例，阐述 RC 滤波器的设计计算方法。

第一步是检查所选 ADC 中使用的采样保持电容器。以图 8-2 TMS320F28002x 微控制器内置 ADC 为例，其采样保持电容为 $C_{sh} = 7.5\text{pF}$ 。滤波电容的实用取值：

$$C_{filt} \geq 20 \times C_{sh} \quad (1)$$

在此示例中，选择 $C_{filt} = 150\text{pF}$ 。

第二步是确定滤波电阻器， R_{filt} 。采样时间常数可近似为放大器 (τ_{OA}) 与 RC 滤波器 (τ_{RC}) 的稳态响应 RSS，即：

$$\tau_{sh} = \sqrt{(\tau_{RC})^2 + (\tau_{OA})^2} \quad (2)$$

鉴于

$$\tau_{OA} = \frac{1}{2\pi \times BW_{151}} \quad (3)$$

为获得适当的稳定性能，请将 τ_{RC} 设置为 4 倍 τ_{OA} 。基于 TIPL 4406 标准的 RC 电荷公式、可得出 RC 滤波器的常数时间为：

$$\tau_{RC} = \frac{-t_{acq} \times 4}{\ln\left(\frac{0.5 \times \frac{FSR}{2^N}}{V_{droop}}\right) \times \sqrt{17}} \quad (4)$$

鉴于

- t_{acq} ，ADC 的采集时间
- V_{droop} ，采样期间 C_{filt} 电荷变化引起的压降，典型值 100mV
- N ，ADC 的分辨率

由此可推导出滤波电阻标称值：

$$R_{filt} = \frac{\tau RC}{C_{filt}} \quad (5)$$

针对本例 12 位系统，在 $t_{acq} = 1 \mu s$ 且压降为 100mV 时，选择 $R_{filt} = 1.2k \Omega$ 。

上述串联电阻计算公式是基于预先设定的 ADC 采集时间参数得出的，其前提是：INA151 的输出放大级具备足够驱动能力，能够在 ADC 采样阶段保持快速稳定。

INA151 所能可靠支持的最小采集时间与其版本相关，不同版本采用不同增益网络，输出级带宽 (BW_{151}) 也不同，请参阅各版本的电气特性。

使用以下公式计算由 INA151 驱动所需的最小采集时间：

$$t_{acq} = \frac{1}{2\pi \times BW_{151}} \times \sqrt{17} \times \ln\left(\frac{0.5 \times \frac{FSR}{2^N}}{V_{droop}}\right) \quad (6)$$

8.2.1.2.3 ADC 输入保护

当使能引脚被驱动至逻辑低电平 ($EN=LOW$) 时，输入放大器级断电，以便在无差分信号时将输入电流减少至 $<1 \mu A$ 。输出级设置为 Hi-Z，而阻抗仅由内部电阻配置 $R3+R2$ 决定。

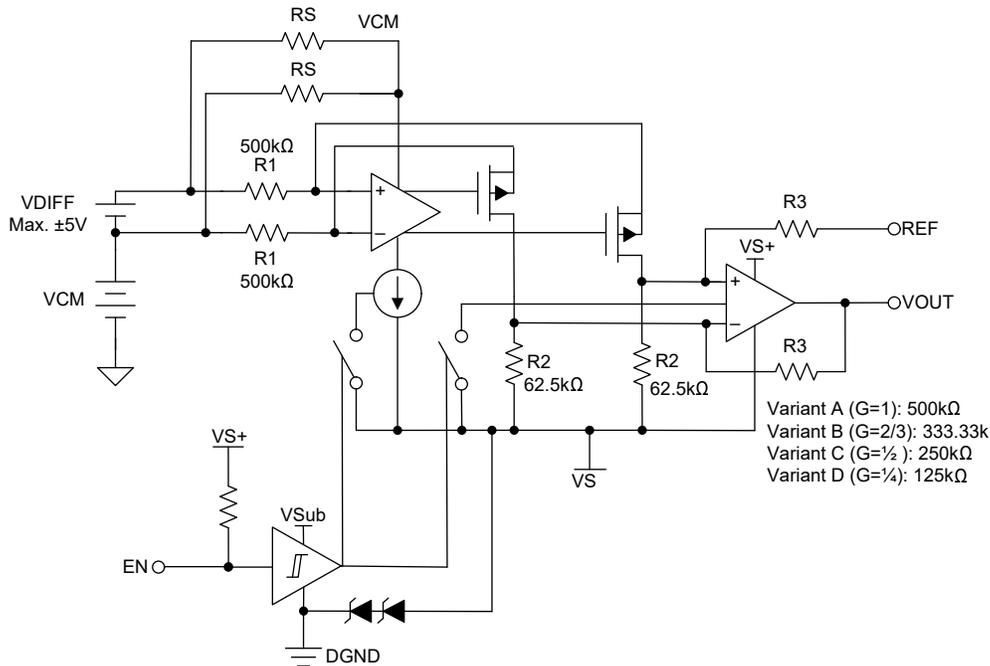


图 8-3. INA151 方框图

请注意禁用状态下的输出阻抗在内部以负电源 $V-$ 为基准。当该器件被禁用并连接至以接地为基准的 ADC 输入端时，ADC 输入端可能会出现低于接地电位的电压瞬变。为避免超出 ADC 输入范围规格，建议增加 TVS 二极管等额外保护措施。

8.2.1.3 应用曲线

下图展示了图 8-2 中 CELL1 ($VCM=0V$) 和 CELL16 ($VCM=67.5V$) 的总系统误差，显示了调整后和未调整的误差测量值。调整后的误差数据反映的是消除 ADC 参考电压误差校准后的性能。

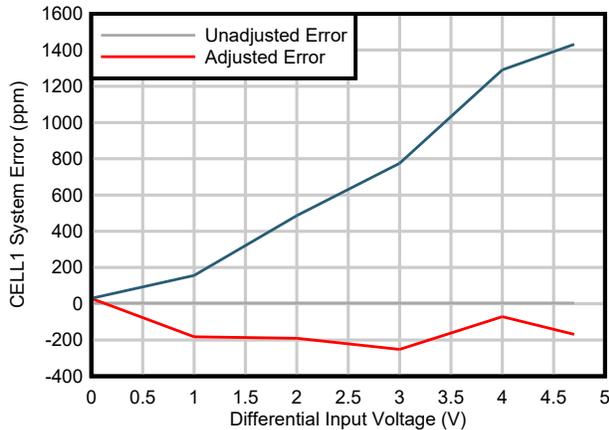


图 8-4. CELL1 的系统误差 (ppm) 与 INA151B 差分输入电压间的关系

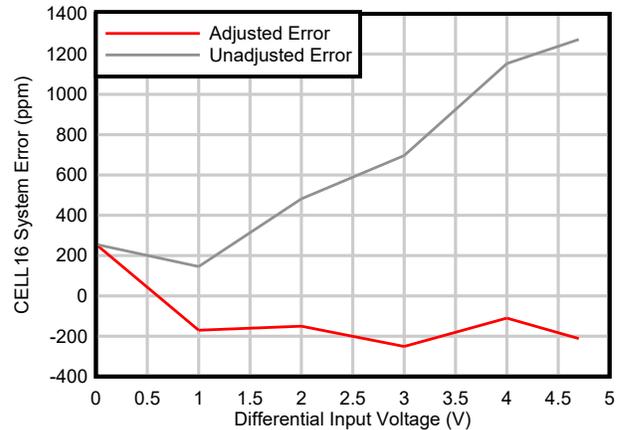


图 8-5. CELL16 的系统误差 (ppm) 与 INA151B 差分输入电压间的关系

8.3 电源相关建议

INA151 的标称性能是在 $\pm 5V$ 的电源电压和中点电压基准电压下规定的。该器件还可用 $\pm 1.35V$ (2.7V) 至 $\pm 10V$ (20V) 的电源和非 $1/2V_s$ 基准电压供电运行，且性能优异。许多规格在 -40°C 至 125°C 的温度范围内适用。[电气特性](#) 展示了由于工作电压或温度变化而可能表现出显著变化的参数。

TI 强烈建议在每个电源引脚和接地之间添加低 ESR 陶瓷旁路电容器 (C_{BYP})。对于单电源运行，只需一个 C_{BYP} 就足够了。将 C_{BYP} 尽可能靠近器件放置，以减少噪声或高阻抗电源产生的耦合误差。请确认电源走线在到达放大器电源端子之前经过 C_{BYP} 。有关更多信息，请参阅 [布局指南](#)。

参数随工作电压和基准电压而变化。[典型特性](#) 部分可用于估计 [电气特性](#) 部分之外的性能。

8.4 布局

8.4.1 布局指南

建议使用良好的布局实践。为了实现器件的理想运行性能，请使用以下 PCB 布局做法：

- 确认两条输入路径在源阻抗和电容方面匹配良好，以避免将共模信号转换为差分信号。
- 使用旁路电容器，通过提供模拟电路的本地低阻抗电源来减少耦合噪声。
 - 在每个电源引脚和接地端之间连接低等效串联电阻 (ESR) $0.1\mu\text{F}$ 陶瓷旁路电容器，并尽量靠近器件放置。
 针对单电源应用， $V+$ 与接地端之间可以接入单个旁路电容器。
- 让输入迹线尽可能远离电源或输出迹线，以减少寄生耦合。如果上述迹线无法分离，则让敏感性迹线与有噪声迹线垂直交叉要远优于选择平行的布线方式。
- 外部元件应尽量靠近器件放置。
- 应使布线尽可能短。

8.4.2 布局示例

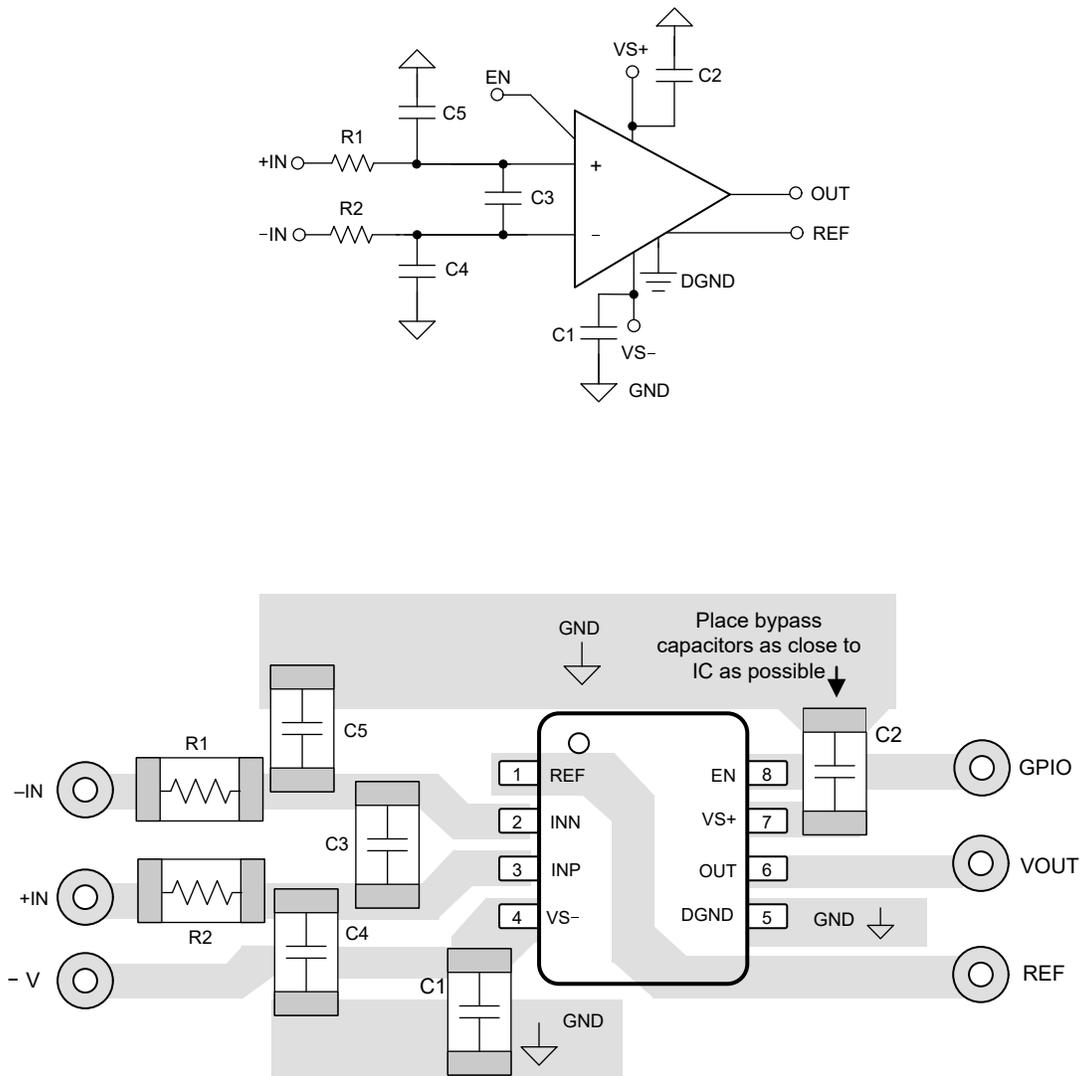


图 8-6. 原理图和相关 PCB 布局示例

9 器件和文档支持

9.1 器件支持

9.1.1 开发支持

- [基于 SPICE 的模拟仿真程序 - TINA-TI 软件文件夹](#)
- [模拟工程师计算器](#)

9.1.1.1 PSpice® for TI

PSpice® for TI 是可帮助评估模拟电路性能的设计和仿真环境。在进行布局和制造之前创建子系统设计和原型解决方案，可降低开发成本并缩短上市时间。

9.2 文档支持

9.2.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI), [运算放大器的 EMI 抑制比 应用手册](#)

9.3 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。

9.4 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](#)。

9.5 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

PSpice® is a registered trademark of Cadence Design Systems, Inc.

所有商标均为其各自所有者的财产。

9.6 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。

9.7 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。

10 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

Changes from Revision A (February 2026) to Revision B (March 2026)

Page

- 将器件状态从 [预告信息](#) 更改为 [量产数据](#) 1

Changes from Revision * (January 2026) to Revision A (February 2026)**Page**

- 将 ESD 额定值中的 HBM 值从 2kV 更改为待定.....4
 - 将 ESD 额定值中的 CBM 值从 1kV 更改为待定.....4
-

11 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。

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)
XINA151BDDFR	Active	Preproduction	SOT-23-THIN (DDF) 8	3000 LARGE T&R	-	Call TI	Call TI	-55 to 125	

(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.

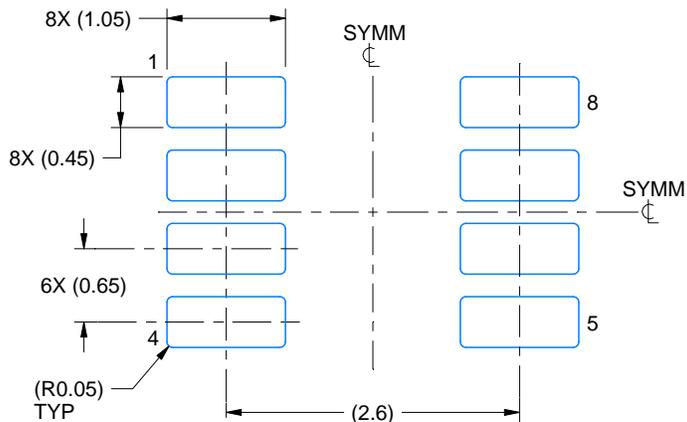
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

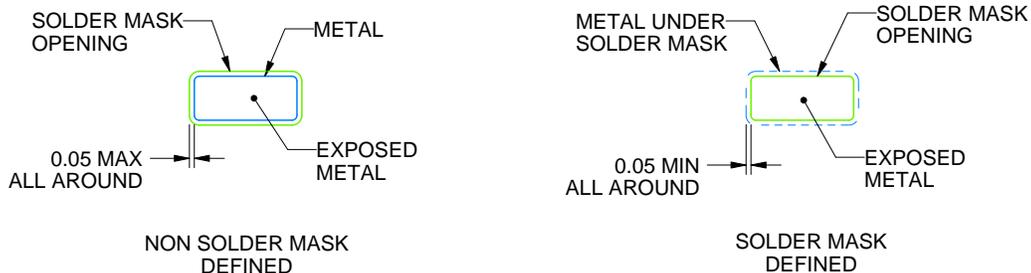
DDF0008A

SOT-23-THIN - 1.1 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE:15X



SOLDER MASK DETAILS

4222047/E 07/2024

NOTES: (continued)

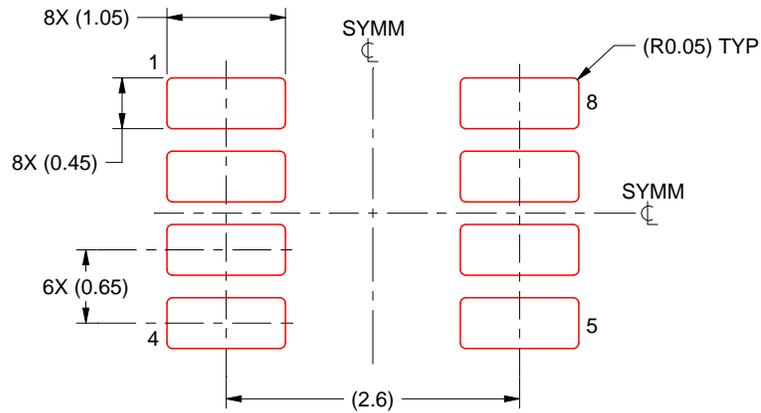
- 4. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
- 5. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DDF0008A

SOT-23-THIN - 1.1 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE:15X

4222047/E 07/2024

NOTES: (continued)

6. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
7. 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、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