

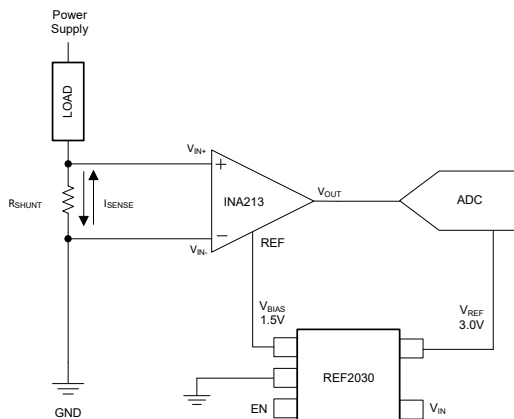
REF20xx 低漂移、低功率、双路输出、 V_{REF} 和 $V_{REF}/2$ 电压基准

1 特性

- 两个输出， V_{REF} 和 $V_{REF}/2$ ，方便用于单电源系统
- 出色的温漂性能：
 - -40°C 至 125°C 范围内为 $8\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ (最大值)
- 高初始精度： $\pm 0.05\%$ (最大值)
- 可在温度范围内跟踪 V_{REF} 和 V_{BIAS} ：
 - -40°C 至 85°C 范围内为 $6\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ (最大值)
 - -40°C 至 125°C 范围内为 $7\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ (最大值)
- 微型封装：SOT23-5
- 低压降：10mV
- 高输出电流： $\pm 20\text{mA}$
- 低静态电流： $360\mu\text{A}$
- 线性调整率： $3\text{ppm}/\text{V}$
- 负载调整率： $8\text{ppm}/\text{mA}$
- **Matte-Sn 版本 (REF2025AISDDCR)** 提高了在 Battelle III 级和类似恶劣环境下的耐腐蚀性

2 应用

- 电表
- 模拟输入模块
- 模拟输出模块
- 伺服驱动器控制模块
- 断路器 (ACB、MCCB、VCB)
- 临床数字温度计
- 实验室和现场仪表
- 电池测试



应用示例

3 说明

仅具有正向电源电压的应用通常需要使用一个处于模数转换器 (ADC) 输入范围中间位置的附加稳定电压来偏置输入双极信号。REF20xx 提供了一个可供 ADC 使用的基准电压 (V_{REF}) 和一个可用于偏置输入双极信号的高精度电压 (V_{BIAS})。

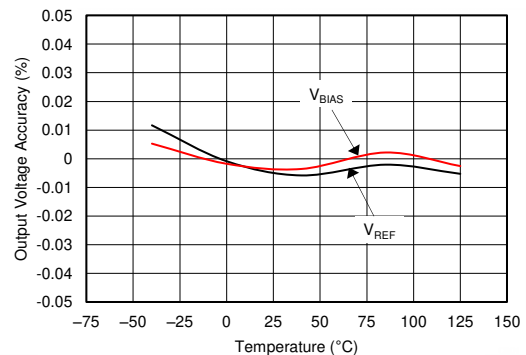
REF20xx 在 V_{REF} 和 V_{BIAS} 输出端具有出色的温漂 (最大 $8\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$) 和初始精度 (0.05%)，同时可保持静态工作电流低于 $430\mu\text{A}$ 。此外， V_{REF} 和 V_{BIAS} 输出端在 -40°C 至 125°C 的温度范围内相互跟踪，精度为 $6\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ (最大值)。与分立式解决方案相比，所有这些特性提升了信号链的精度、节省了布板空间并降低了系统成本。仅为 10mV 的超低压降电压使其能够在极低的输入电压下运行，这在电池供电的系统中非常有用。

V_{REF} 和 V_{BIAS} 电压具有同样出色的规格，而且灌电流和拉电流能力同样强大。这些器件具有优异的长期稳定性和低噪声级别，使其成为高精度工业应用的理想选择。

封装信息

器件名称	封装 (1)	封装尺寸 (2)
REF20xx	DCC (SOT-23, 5)	2.90mm × 1.60mm

- (1) 有关更多信息，请参阅节 12。
- (2) 封装尺寸 (长 × 宽) 为标称值，并包括引脚 (如适用)。



V_{REF} 和 V_{BIAS} 与温度间的关系



内容

1 特性	1	8.1 概述	17
2 应用	1	8.2 功能方框图	17
3 说明	1	8.3 特性说明	17
4 器件比较表	3	8.4 器件功能模式	18
5 引脚配置和功能	4	9 应用和实施	19
6 规格	5	9.1 应用信息	19
6.1 绝对最大额定值.....	5	9.2 典型应用	20
6.2 ESD 等级.....	5	9.3 电源相关建议	24
6.3 建议运行条件.....	5	9.4 布局	24
6.4 热性能信息.....	5	10 器件和文档支持	26
6.5 电气特性.....	6	10.1 文档支持	26
6.6 典型特性.....	7	10.2 接收文档更新通知	26
7 参数测量信息	14	10.3 支持资源	26
7.1 焊接热漂移.....	14	10.4 商标	26
7.2 长期稳定性.....	15	10.5 静电放电警告	26
7.3 热迟滞.....	15	10.6 术语表	26
7.4 噪声性能.....	16	11 修订历史记录	26
8 详细说明	17	12 机械、封装和可订购信息	27

4 器件比较表

产品	V _{REF}	V _{BIAS}
REF2025	2.5V	1.25V
REF2030	3.0V	1.5V
REF2033	3.3V	1.65V
REF2041	4.096V	2.048V

5 引脚配置和功能

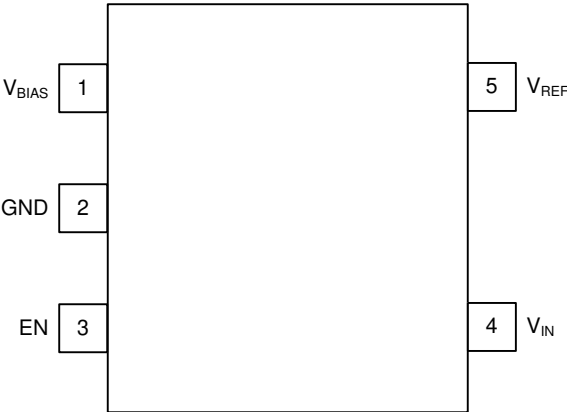


图 5-1. DDC 封装 SOT23-5 (顶视图)

引脚		I/O	说明
编号	名称		
1	V _{BIAS}	输出	偏置电压输出 (V _{REF} /2)
2	GND	—	接地
3	EN	输入	启用 (EN ≥ V _{IN} - 0.7V , 器件启用)
4	V _{IN}	输入	输入电源电压
5	V _{REF}	输出	基准电压输出 (V _{REF})

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
输入电压	V_{IN}	-0.3	6	V
	EN	-0.3	$V_{IN} + 0.3$	
温度	工作	-55	150	°C
	结温, T_J		150	
	贮存温度, T_{stg}	-65	170	

- (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的工作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。

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⁾	±2500	V
	充电器件模型 (CDM), 符合 JEDEC 规范 JESD22-C101 ⁽²⁾	±1500	

- (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	标称值	最大值	单位
V_{IN} 电源输入电压范围 ($I_L = 0mA$, $T_A = 25^\circ C$)	$V_{REF} + 0.02$ ⁽¹⁾		5.5	V

- (1) 有关不同负载电流和温度下的最小输入电压，请参阅节 6.6 中的图 6-28

6.4 热性能信息

热指标 ⁽¹⁾		REF20xx	单位
		DDC (SOT23)	
		5 引脚	
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	193.6	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	40.2	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	34.5	°C/W
ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.9	°C/W
ψ_{JB}	结至电路板特征参数	34.3	°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。

6.5 电气特性

测试条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $I_L = 0\text{mA}$ 且 $V_{IN} = 5\text{V}$ (除非另有说明)。 V_{REF} 和 V_{BIAS} 的规格相同。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
精度和温漂						
输出电压精度			-0.05%		0.05%	
输出电压温度系数 ⁽¹⁾		- 40°C ≤ T _A ≤ 125°C		±3	±8	ppm/°C
在温度范围内的 V _{REF} 和 V _{BIAS} 跟踪 ⁽²⁾		- 40°C ≤ T _A ≤ 85°C		±1.5	±6	ppm/°C
		- 40°C ≤ T _A ≤ 125°C		±2	±7	
线路和负载调整率						
Δ V _O (Δ V _I) 线路调整		V _{REF} + 0.02V ≤ V _{IN} ≤ 5.5V		3	35	ppm/V
Δ V _O (Δ I _L) 负载调整率	拉电流	0mA ≤ I _L ≤ 20mA , V _{REF} + 0.6V ≤ V _{IN} ≤ 5.5V		8	20	ppm/mA
	灌电流	0mA ≤ I _L ≤ -20mA , V _{REF} + 0.02V ≤ V _{IN} ≤ 5.5V		8	20	
电源						
I _{CC} 电源电流	工作模式			360	430	μA
		- 40°C ≤ T _A ≤ 125°C			460	
	关断模式			3.3	5	
		- 40°C ≤ T _A ≤ 125°C			9	
启用电压		器件处于关断模式 (EN = 0)		0	0.7	V
		器件处于工作模式 (EN = 1)		V _{IN} - 0.7	V _{IN}	
压降电压				10	20	mV
		I _L = 20mA			600	
I _{SC} 短路电流				50		mA
t _{on} 导通时间		0.1% 稳定 , C _L = 1μF		500		μs
噪声						
低频噪声 ⁽³⁾		0.1Hz ≤ f ≤ 10Hz		12		ppm _{PP}
输出电压噪声密度		f = 100Hz		0.25		ppm/√Hz
容性负载						
稳定的输出电容器范围				0	10	μF
迟滞和长期稳定性						
长期稳定性 ⁴		0 到 1000 小时		25		ppm
输出电压迟滞 ⁵		25°C、 - 40°C、 125°C、 25°C	周期 1	60		ppm
			周期 2	35		

(1) 温漂通过箱形法指定。有关更多详细信息，请参阅节 8.3。

(2) 有关温度范围内 V_{REF} 和 V_{BIAS} 跟踪规格的更多详细信息，请参阅节 8.3。

(3) 有关峰值噪声测量过程的更详细信息，请参阅节 7.4。

(4) 有关长期稳定性测量过程的更详细信息，请参阅节 7.2。

(5) 节 7.3 中更详细地说明了热迟滞测量过程。

6.6 典型特性

测试条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $I_L = 0\text{mA}$ 、 $V_{IN} = 5\text{V}$ 电源、 $C_L = 0\mu\text{F}$ 且输出为 2.5V (除非另有说明)。

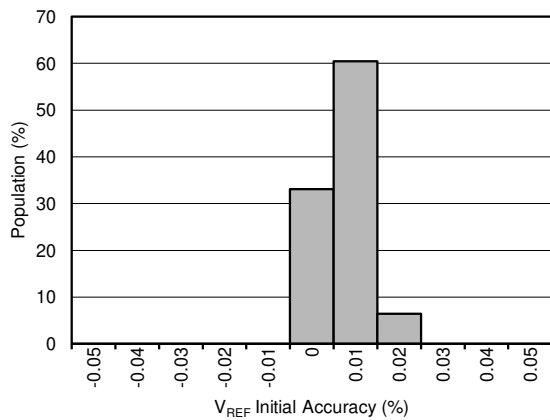
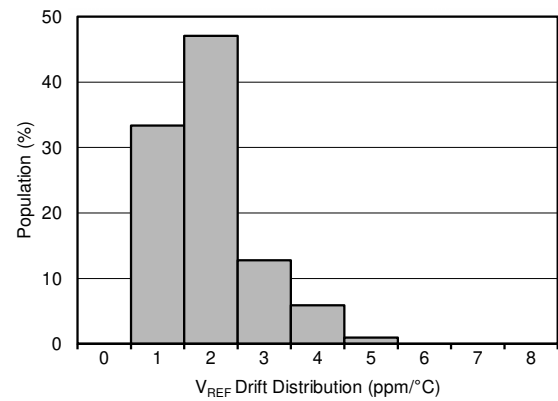


图 6-1. 初始精度分布 (V_{REF})



$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$

图 6-2. 温漂分布 (V_{REF})

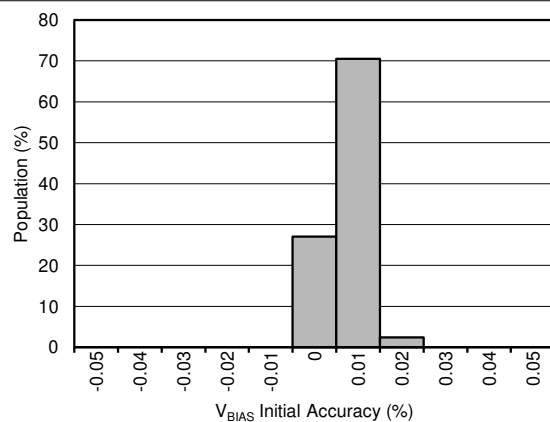
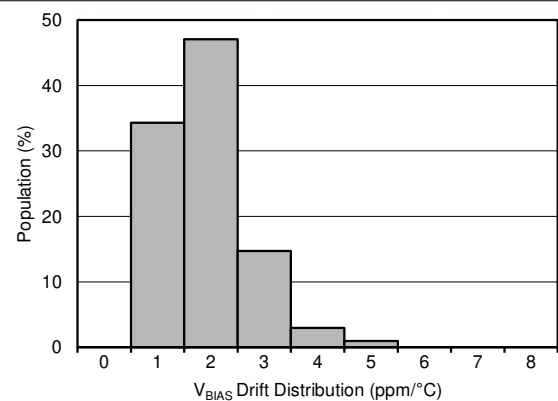


图 6-3. 初始精度分布 (V_{BIAS})



$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$

图 6-4. 温漂分布 (V_{BIAS})

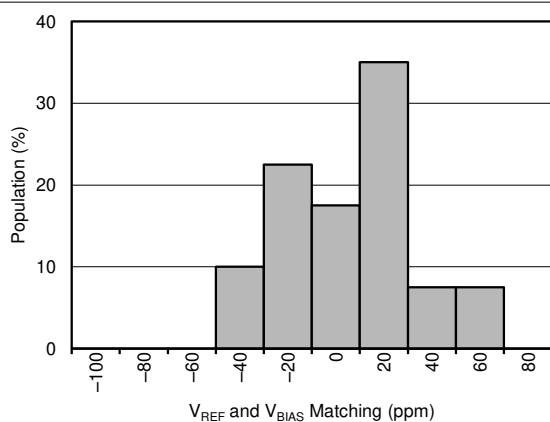
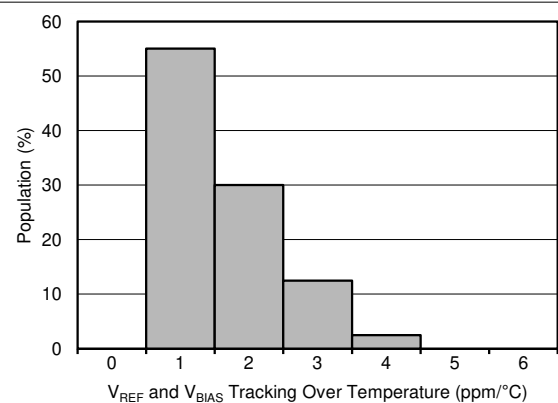


图 6-5. $V_{REF} - 2 \times V_{BIAS}$ 分布

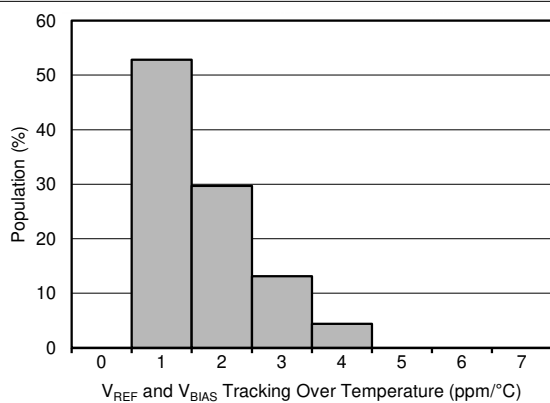


$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$

图 6-6. 在温度范围内的 $V_{REF} - 2 \times V_{BIAS}$ 漂移跟踪分布

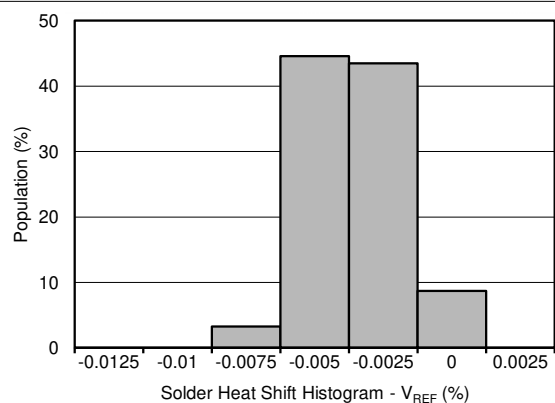
6.6 典型特性 (续)

测试条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $I_L = 0\text{mA}$ 、 $V_{IN} = 5\text{V}$ 电源、 $C_L = 0\mu\text{F}$ 且输出为 2.5V (除非另有说明)。



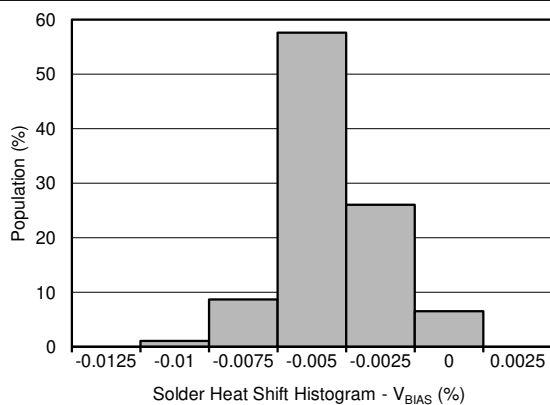
$$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$$

图 6-7. 在温度范围内的 $V_{REF} - 2 \times V_{BIAS}$ 漂移跟踪分布



有关更多信息, 请参阅 节 7.1。

图 6-8. 焊接热漂移分布 (V_{REF})



请参阅 节 7.1 部分, 了解详情。

图 6-9. 焊接热漂移分布 (V_{BIAS})

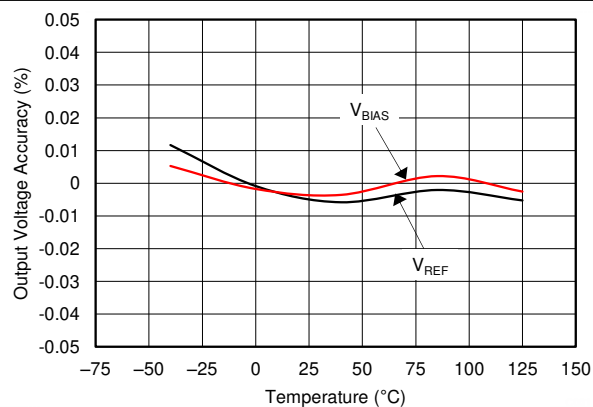


图 6-10. 输出电压精度 (V_{REF}) 与温度间的关系

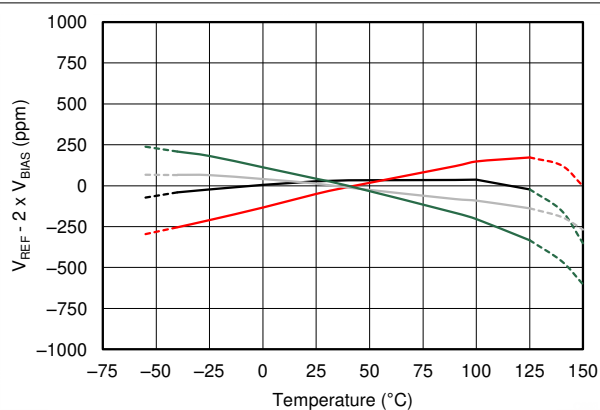
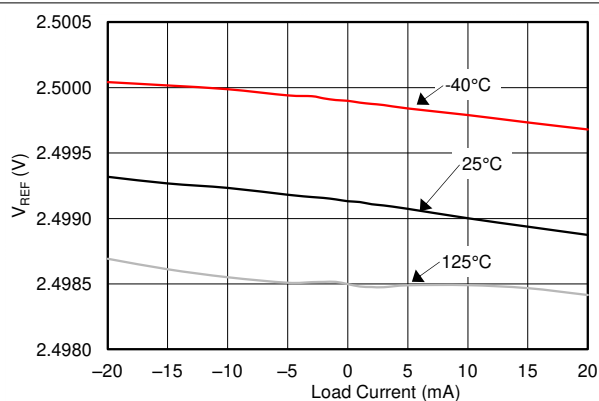


图 6-11. $V_{REF} - 2 \times V_{BIAS}$ 跟踪与温度间的关系



V_{REF} 输出

图 6-12. 输出电压变化与负载电流间的关系 (V_{REF})

6.6 典型特性 (续)

测试条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $I_L = 0\text{mA}$ 、 $V_{IN} = 5\text{V}$ 电源、 $C_L = 0\mu\text{F}$ 且输出为 2.5V (除非另有说明)。

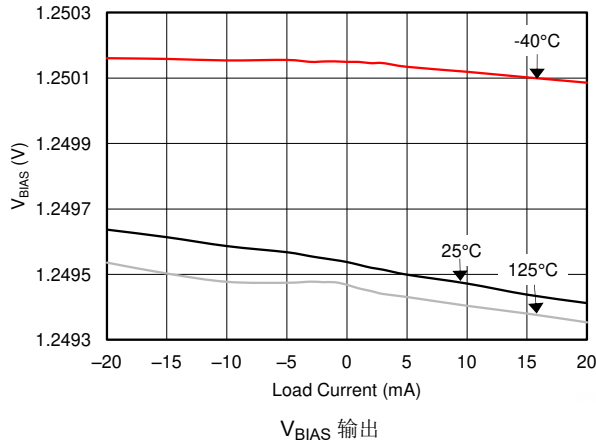


图 6-13. 输出电压变化与负载电流间的关系 (V_{BIAS})

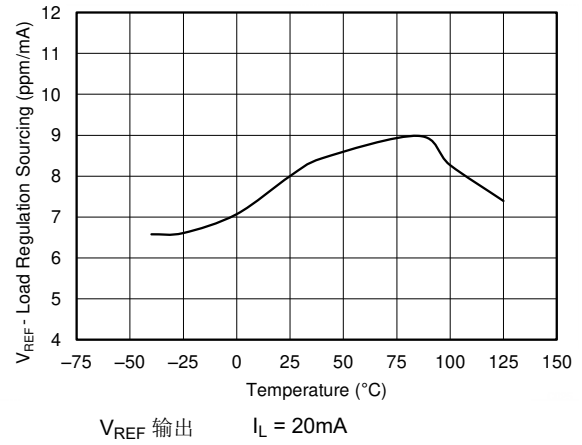


图 6-14. 负载调整率 (拉电流) 与温度间的关系 (V_{REF})

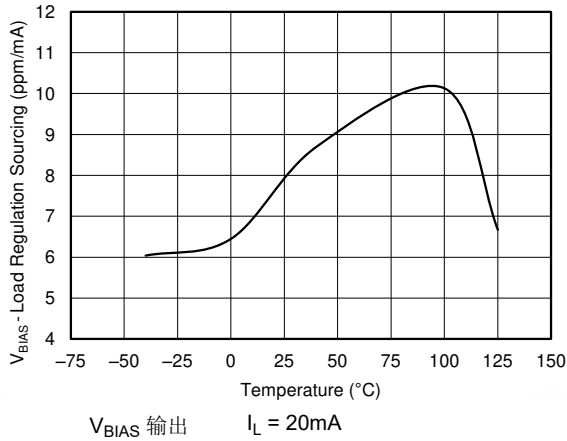


图 6-15. 负载调整率 (拉电流) 与温度间的关系 (V_{BIAS})

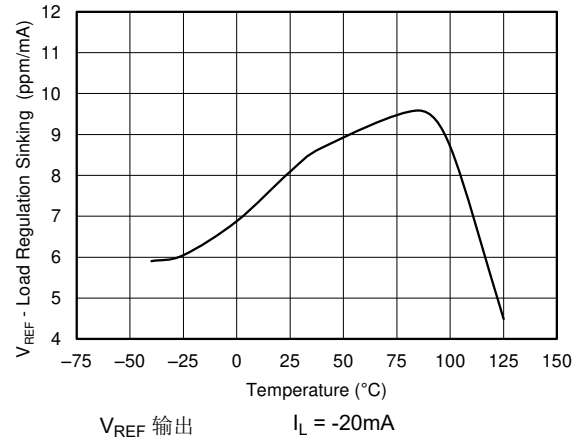


图 6-16. 负载调整率 (灌电流) 与温度间的关系 (V_{REF})

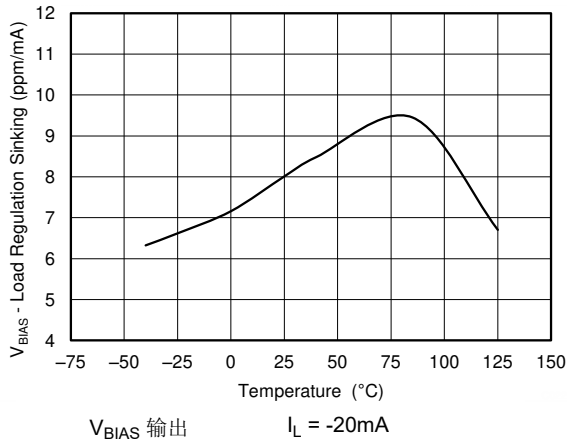


图 6-17. 负载调整率 (灌电流) 与温度间的关系 (V_{BIAS})

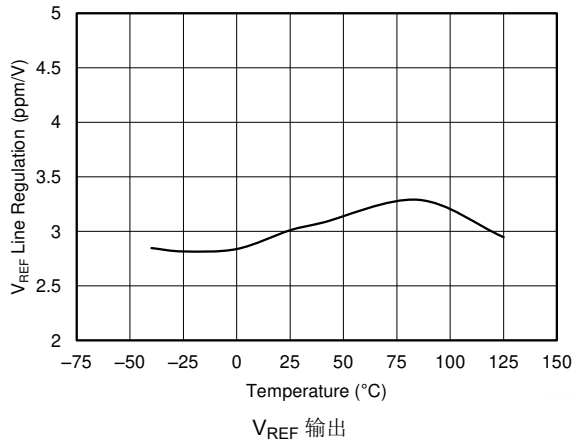


图 6-18. 线性调整率与温度间的关系 (V_{REF})

6.6 典型特性 (续)

测试条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $I_L = 0\text{mA}$ 、 $V_{IN} = 5\text{V}$ 电源、 $C_L = 0\mu\text{F}$ 且输出为 2.5V (除非另有说明)。

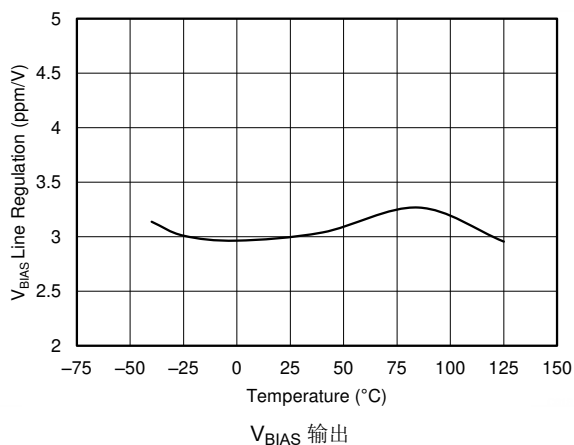


图 6-19. 线性调整率与温度间的关系 (V_{BIAS})

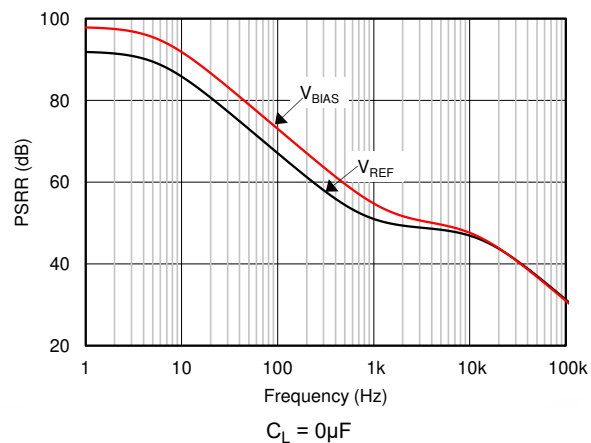


图 6-20. 电源抑制比与频率间的关系

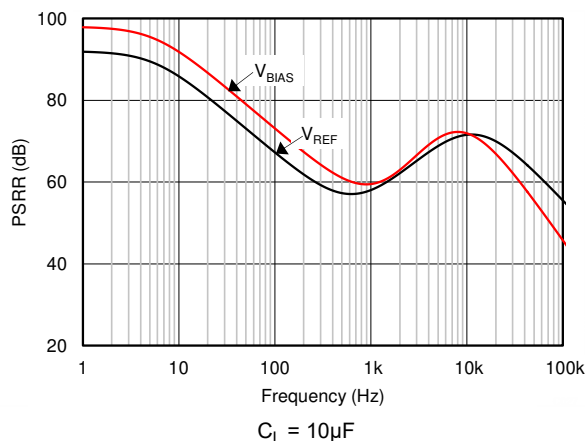


图 6-21. 电源抑制比与频率间的关系

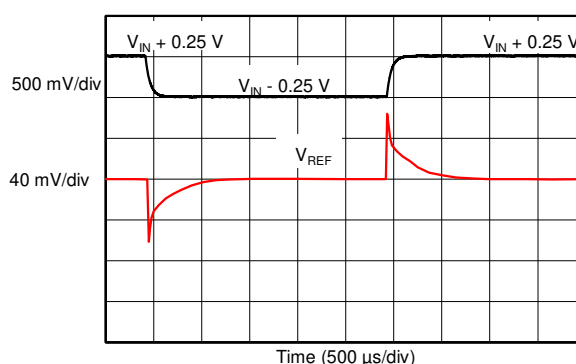


图 6-22. 线路瞬态响应

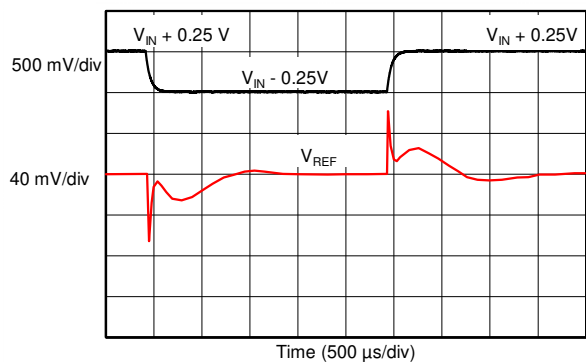


图 6-23. 线路瞬态响应

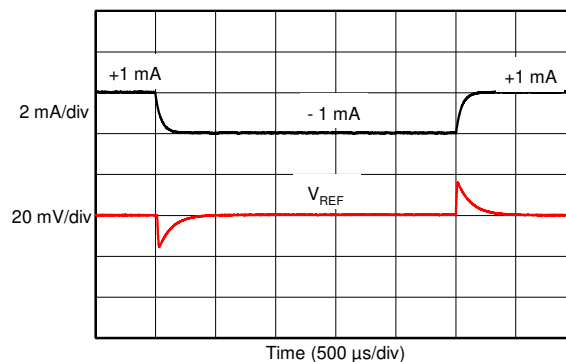
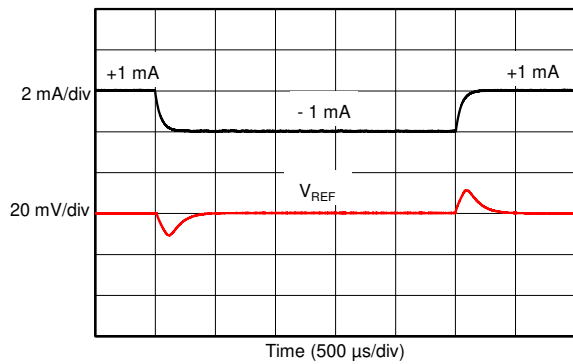


图 6-24. 负载瞬态响应

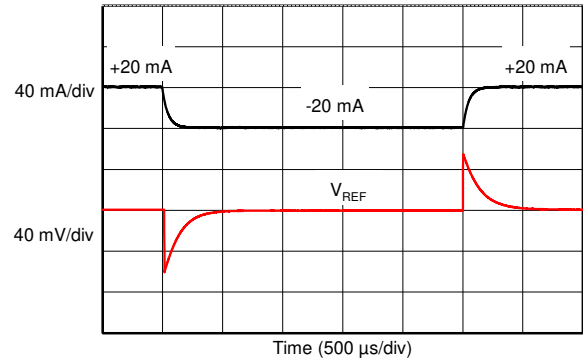
6.6 典型特性 (续)

测试条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $I_L = 0\text{mA}$ 、 $V_{IN} = 5\text{V}$ 电源、 $C_L = 0\mu\text{F}$ 且输出为 2.5V (除非另有说明)。



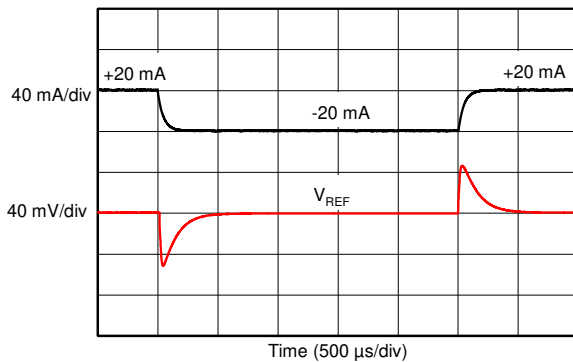
$C_L = 10\mu\text{F}$ $I_L = \pm 1\text{mA}$ 阶跃

图 6-25. 负载瞬态响应



$C_L = 1\mu\text{F}$ $I_L = \pm 20\text{mA}$ 阶跃

图 6-26. 负载瞬态响应



$C_L = 10\mu\text{F}$ $I_L = \pm 20\text{mA}$ 阶跃

图 6-27. 负载瞬态响应

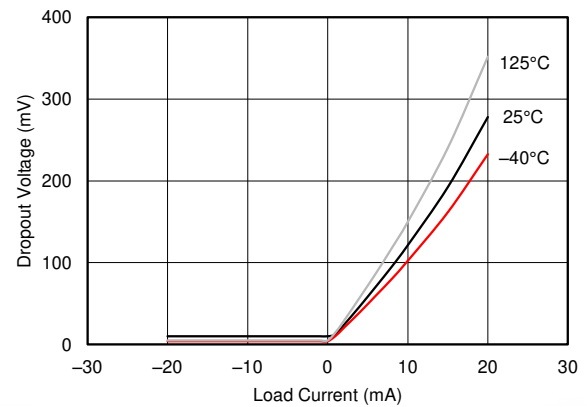
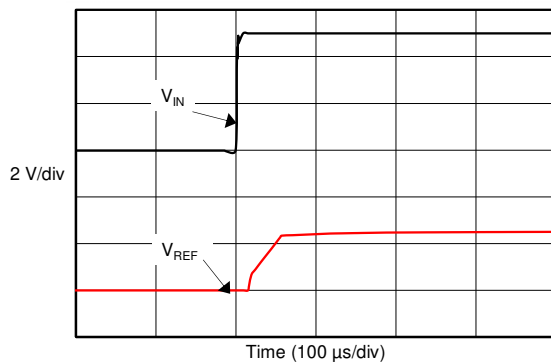
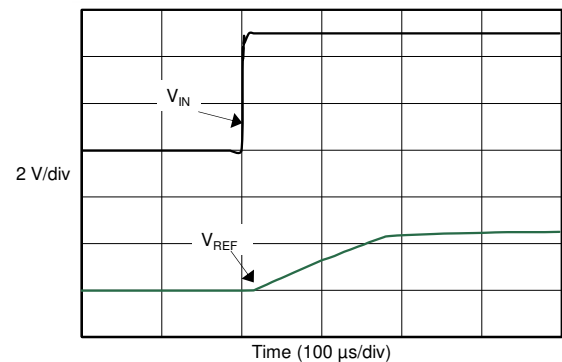


图 6-28. 最小压降电压与负载电流间的关系



$C_L = 1\mu\text{F}$

图 6-29. 导通稳定时间



$C_L = 10\mu\text{F}$

图 6-30. 导通稳定时间

6.6 典型特性 (续)

测试条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $I_L = 0\text{mA}$ 、 $V_{IN} = 5\text{V}$ 电源、 $C_L = 0\mu\text{F}$ 且输出为 2.5V (除非另有说明)。

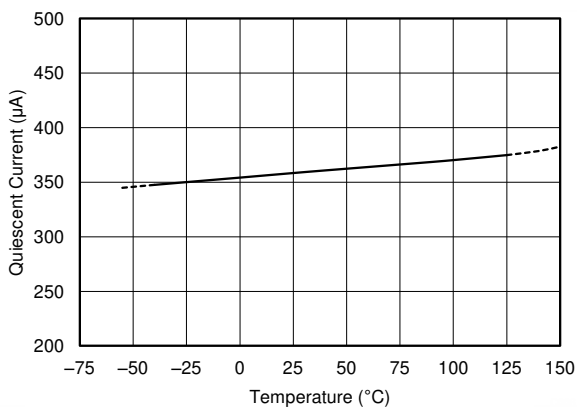


图 6-31. 静态电流与温度间的关系

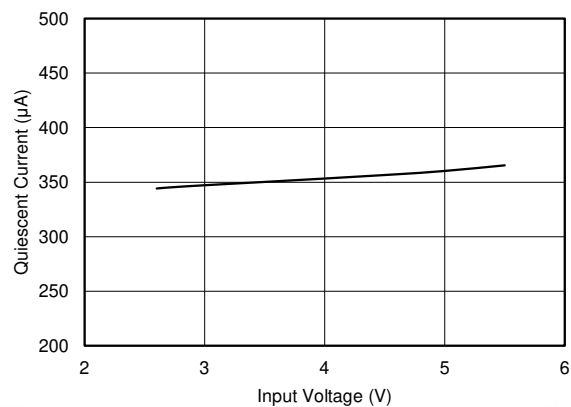
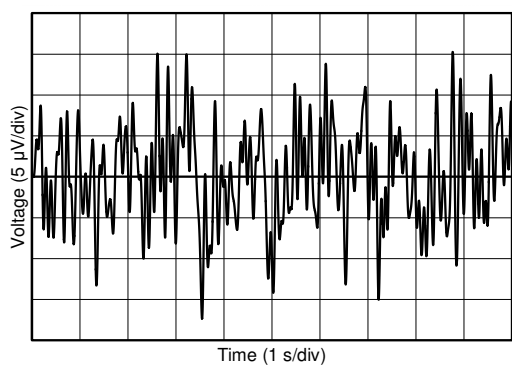
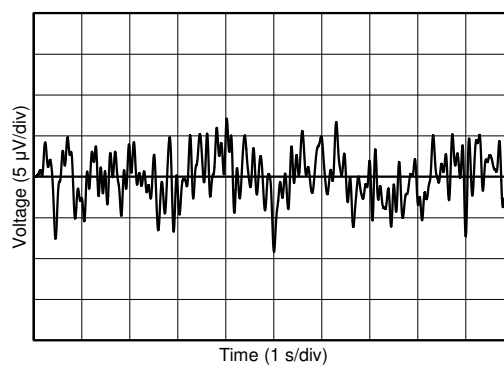


图 6-32. 静态电流与输入电压间的关系



V_{REF} 输出

图 6-33. 0.1Hz 至 10Hz 噪声 (V_{REF})



V_{BIAS} 输出

图 6-34. 0.1Hz 至 10Hz 噪声 (V_{BIAS})

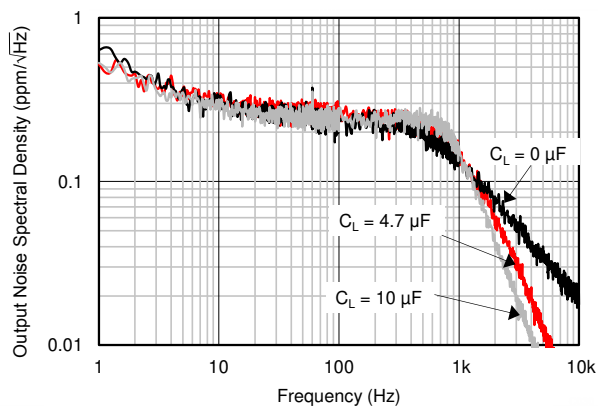
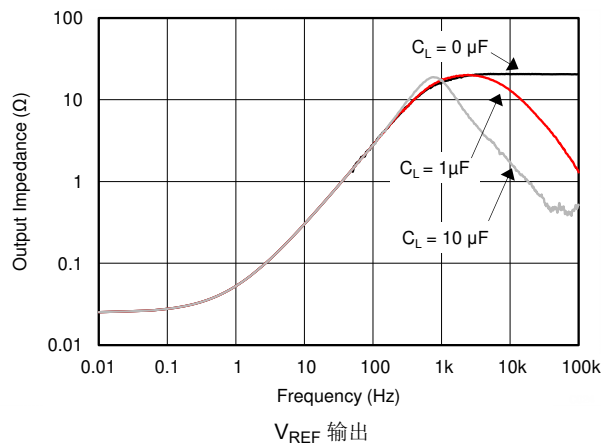


图 6-35. 输出电压噪声频谱



V_{REF} 输出

图 6-36. 输出阻抗与频率间的关系 (V_{REF})

6.6 典型特性 (续)

测试条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $I_L = 0\text{mA}$ 、 $V_{IN} = 5\text{V}$ 电源、 $C_L = 0\mu\text{F}$ 且输出为 2.5V (除非另有说明)。

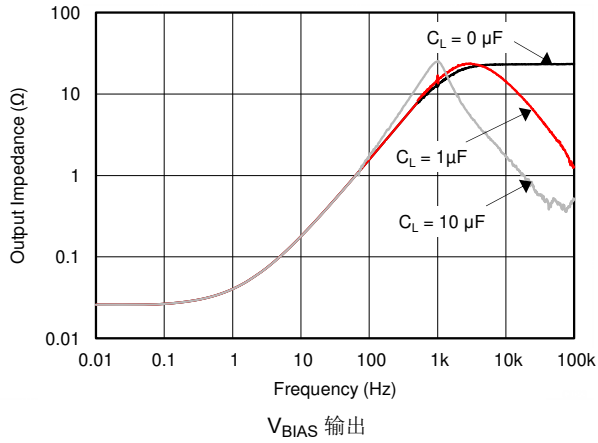


图 6-37. 输出阻抗与频率间的关系 (V_{BIAS})

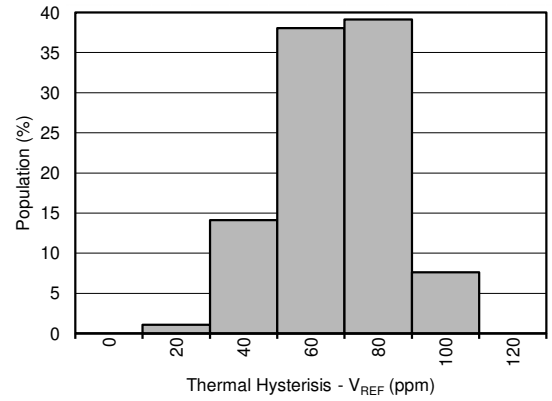


图 6-38. 热迟滞分布 (V_{REF})

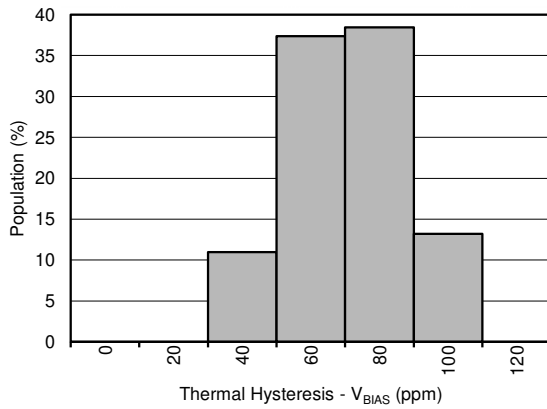


图 6-39. 热迟滞分布 (V_{BIAS})

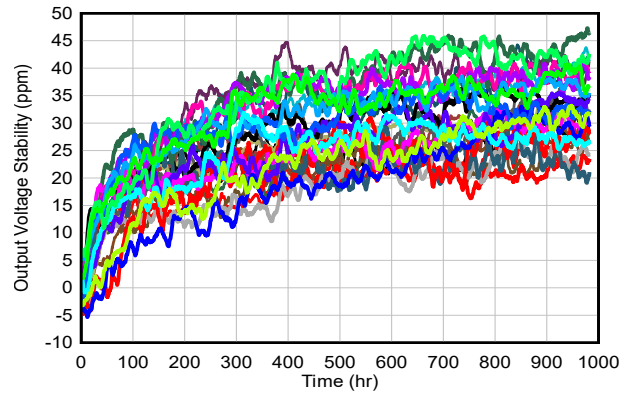


图 6-40. 长期稳定性 (前 1000 小时)

7 参数测量信息

7.1 焊接热漂移

REF20xx 制造中所用的材料具有不同的热胀系数，因此在加热器件时，会在器件芯片上产生应力。器件裸片上的机械应力和热应力会导致输出电压漂移，从而降低产品的初始精度规格。回流焊是造成这种误差的常见原因。

为了说明这种影响，使用无铅焊锡膏和焊膏制造商建议的回流焊曲线，将总共 92 个器件焊接在四个印刷电路板上 [每个印刷电路板 (PCB) 上 23 个器件]。回流焊曲线如图 7-1 中所示。印刷电路板使用 FR4 材料制成。电路板厚度为 1.57 mm，面积为 171.54 mm × 165.1 mm。

在回流焊过程之前和之后测量基准和偏置输出电压；典型漂移如图 7-2 和图 7-3 所示。尽管所有测试单元都表现出很低的漂移 ($< 0.01\%$)，但也可能产生更高的漂移，具体取决于印刷电路板的大小、厚度和材料。必须注意的是，直方图显示暴露于单个回流焊曲线的典型漂移。在两侧都有表面贴装元件的 PCB 经常会暴露于多个回流焊，这会导致输出偏置电压出现额外漂移。如果 PCB 暴露于多个回流焊，则必须在第二道工序焊接器件，以更大限度地减少器件暴露于热应力的情况。

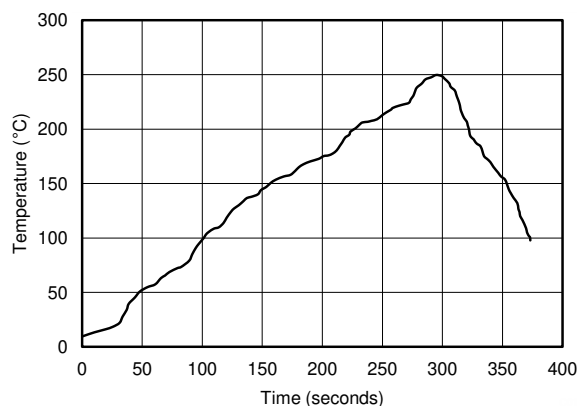


图 7-1. 回流焊曲线

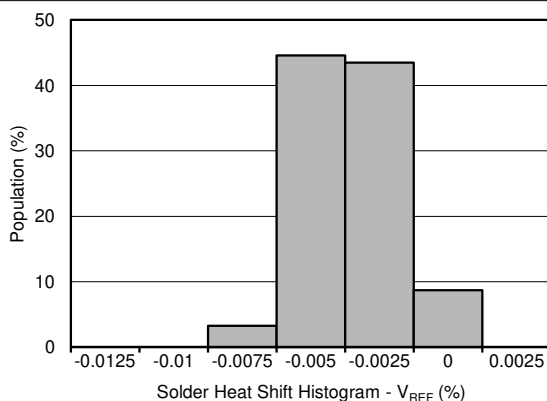


图 7-2. 焊接热漂移分布, V_{REF} (%)

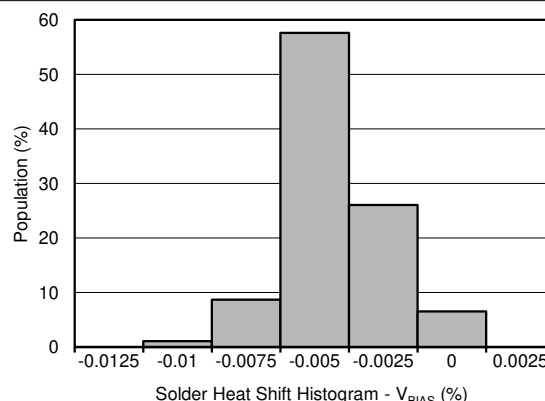


图 7-3. 焊接热漂移分布, V_{BIAS} (%)

7.2 长期稳定性

REF20xx 的长期稳定性数据是从焊接到印刷电路板上的 32 个器件上收集的，没有任何插槽或特殊的布局注意事项。然后将电路板放入空气温度保持在 $T_A = 35^\circ\text{C}$ 的烤箱中，定期测量 32 个器件的 V_{REF} 输出。典型的长期稳定性如图 7-4 所示。

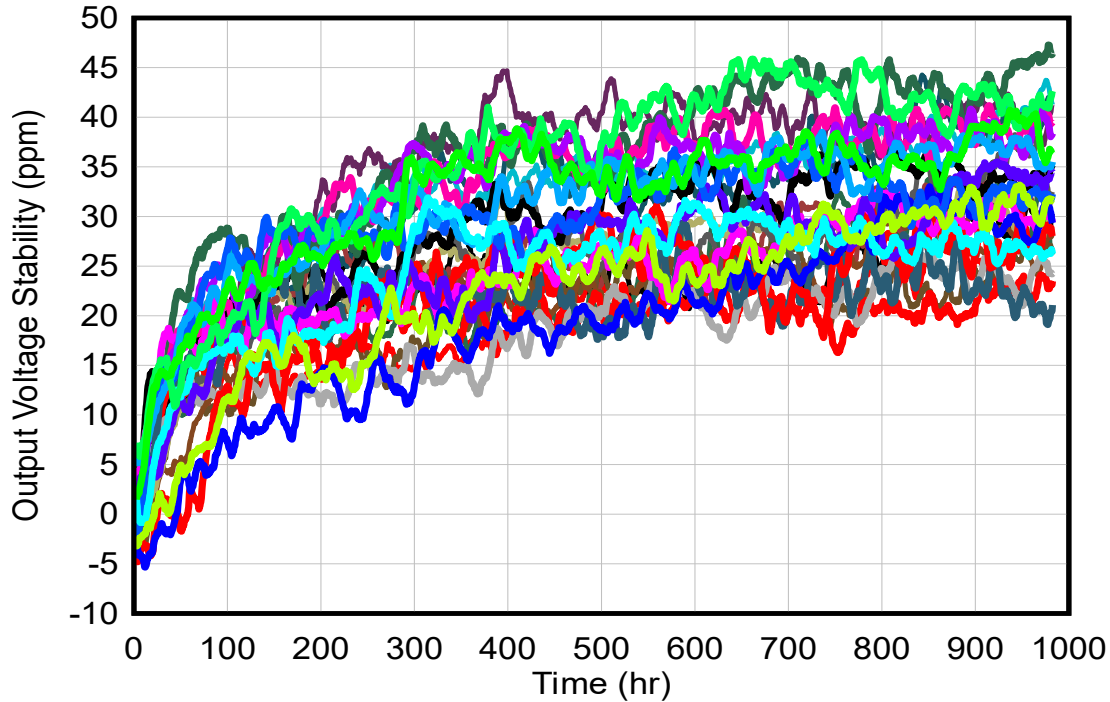


图 7-4. 长期稳定性 - 1000 小时 (V_{REF})

7.3 热迟滞

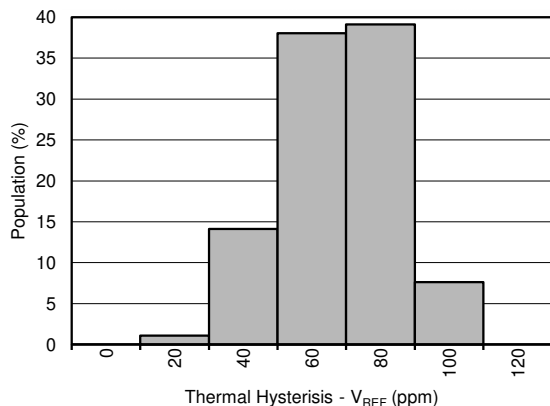
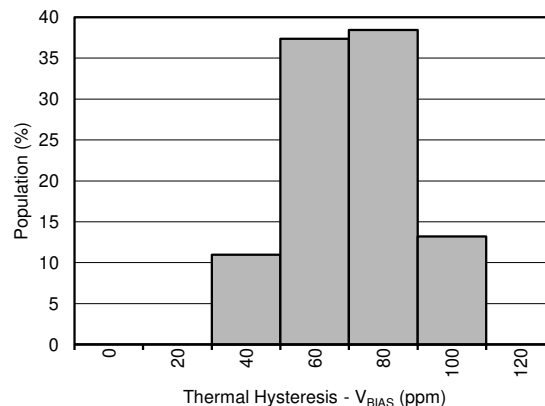
与实际应用类似，通过将 REF20xx 焊接到 PCB 上测量热迟滞。器件的热迟滞定义为器件在 25°C 下运行的输出电压与经过额定温度范围内所有温度后返回 25°C 时输出电压的差值。迟滞使用方程式 1 计算：

$$V_{\text{HYST}} = \left(\frac{|V_{\text{PRE}} - V_{\text{POST}}|}{V_{\text{NOM}}} \right) \times 10^6 (\text{ppm}) \quad (1)$$

其中

- V_{HYST} = 热迟滞 (单位为 ppm)
- V_{PRE} = 在 25°C 预热循环时测得的输出电压
- V_{POST} = 器件从 25°C 开始到经过 -40°C 至 125°C 额定温度范围内所有温度后返回 25°C 时测得的输出电压
- V_{NOM} = 指定的输出电压

图 7-5 和图 7-6 显示了典型热迟滞分布。

图 7-5. 热迟滞分布 (V_{REF})图 7-6. 热迟滞分布 (V_{BIAS})

7.4 噪声性能

图 7-7 和图 7-8 展示了 0.1Hz 至 10Hz 的典型电压噪声。器件噪声随输出电压和工作温度的升高而增加。可通过额外滤波进一步降低输出噪声。验证输出阻抗不会降低交流性能。峰峰值噪声测量设置如图 7-9 所示。

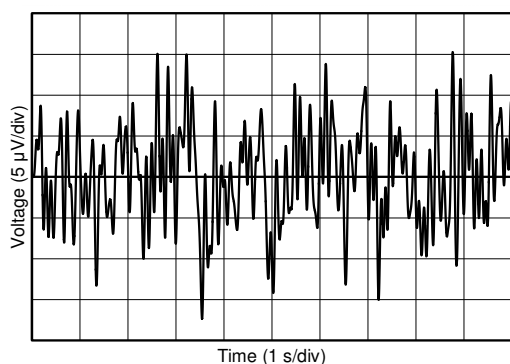
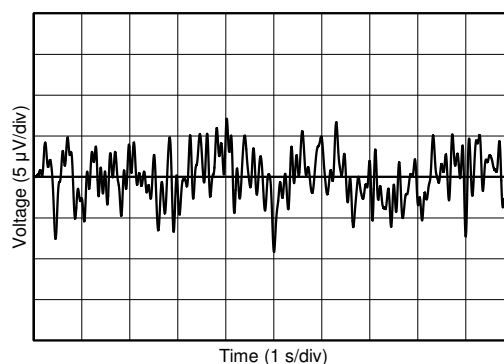
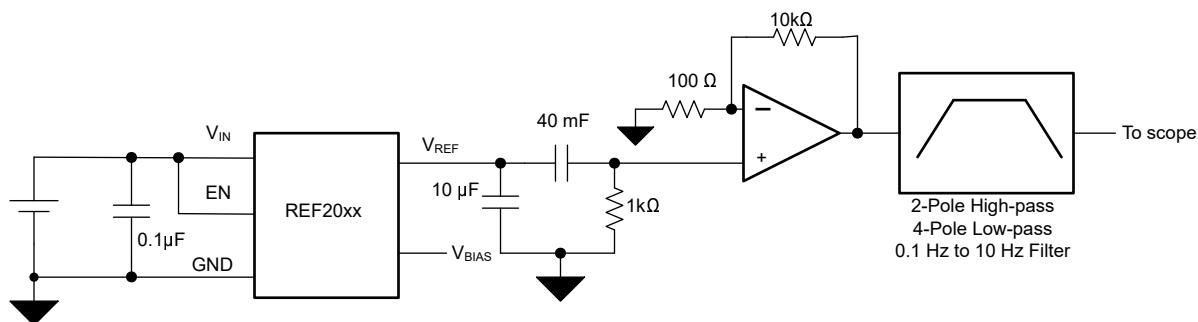
图 7-7. 0.1Hz 至 10Hz 噪声 (V_{REF})图 7-8. 0.1Hz 至 10Hz 噪声 (V_{BIAS})

图 7-9. 0.1Hz 至 10Hz 噪声测量设置

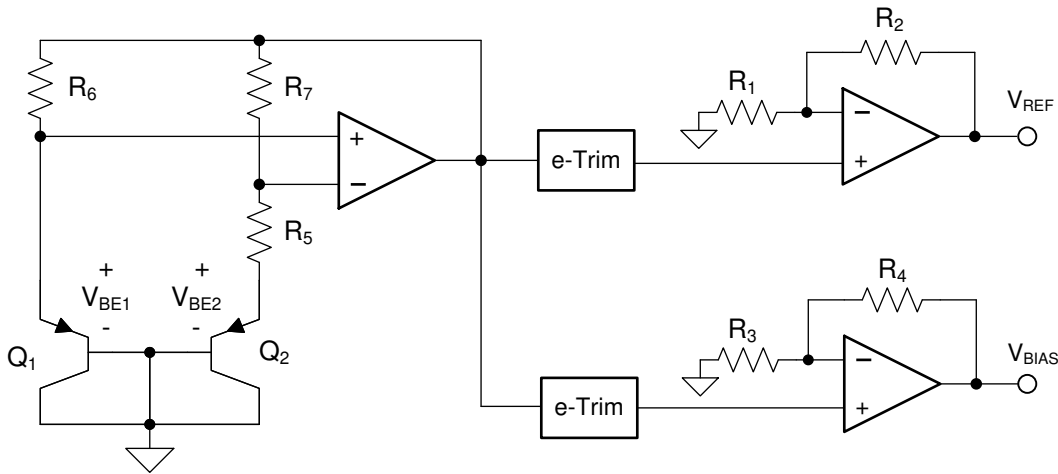
8 详细说明

8.1 概述

REF20xx 系列可提供 V_{REF} 和 V_{BIAS} ($V_{REF}/2$) 双路输出、带隙电压基准。节 8.2 包含基本带隙拓扑结构的方框图，以及用于推算 V_{REF} 和 V_{BIAS} 输出的两个缓冲器。晶体管 Q_1 和 Q_2 实现了偏置，使得 Q_1 的电流密度大于 Q_2 的电流密度。两个基极发射极电压之差 ($V_{BE1} - V_{BE2}$) 具有正温度系数，并被强制施加在电阻器 R_5 两端。该电压被放大并添加到具有负温度系数的 Q_2 的基极发射极电压。由此产生的带隙输出电压几乎与温度无关。两个独立的缓冲器用于从带隙电压生成 V_{REF} 和 V_{BIAS} 。电阻器 R_1 、 R_2 和 R_3 、 R_4 的阻值应确保 $V_{BIAS} = V_{REF}/2$ 。

e-Trim™ 是一种对 V_{REF} 和 V_{BIAS} 的初始精度和温度系数进行封装级修整的方法，在塑模成型工艺之后的最终制造阶段实施。e-Trim 方法尽可能地减小了固有晶体管失配的影响，以及封装成型过程中引入的误差。REF20xx 中采用了 e-Trim 技术，从而更大程度降低温漂并提高 V_{REF} 和 V_{BIAS} 输出的初始精度。

8.2 功能方框图



8.3 特性说明

8.3.1 V_{REF} 和 V_{BIAS} 跟踪

大多数单电源系统需要一个额外的稳定电压来偏置输入双极性信号，该电压值等于模数转换器 (ADC) 输入范围的中间值。REF20xx 的 V_{REF} 和 V_{BIAS} 输出由节 8.2 中所示的相同带隙电压生成。因此，输出在 -40°C 至 125°C 的整个温度范围内彼此跟踪，精度为 $7\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ (最大值)。当温度范围限制为 -40°C 至 85°C 时，跟踪精度提升至 $6\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ (最大值)。跟踪误差使用方程式 2 中的框方法计算：

$$\text{Tracking Error} = \left(\frac{V_{\text{DIFF}}[\text{MAX}] - V_{\text{DIFF}}[\text{MIN}]}{V_{\text{REF}} \times \text{Temperature Range}} \right) \times 10^6 (\text{ppm}) \quad (2)$$

其中

$$V_{\text{DIFF}} = V_{\text{REF}} - 2 \times V_{\text{BIAS}} \quad (3)$$

图 8-1 显示了跟踪精度。

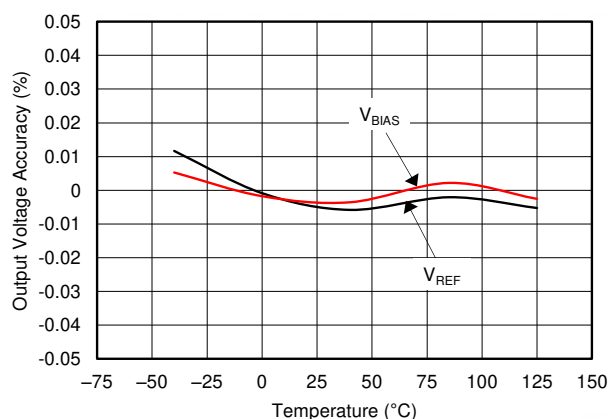


图 8-1. V_{REF} 和 V_{BIAS} 跟踪与温度间的关系

8.3.2 低温漂

REF20xx 专为最小漂移误差而设计，该漂移误差被定义为输出电压随温度的变化。使用 [方程式 4](#) 通过框方法计算漂移：

$$\text{Drift} = \left(\frac{V_{\text{REF}}[\text{MAX}] - V_{\text{REF}}[\text{MIN}]}{V_{\text{REF}} \times \text{Temperature Range}} \right) \times 10^6 (\text{ppm}) \quad (4)$$

8.3.3 负载电流

REF20xx 系列可提供每路输出 $\pm 20\text{mA}$ 的电流负载。通过将输出短路电流限制为 50mA ，器件的 V_{REF} 和 V_{BIAS} 输出端均可受到短路保护。根据 [方程式 5](#)，器件温度会升高：

$$T_J = T_A + P_D \times R_{\theta JA} \quad (5)$$

其中

- T_J 为结温 (°C)
- T_A 为环境温度 (°C)
- P_D 为耗散的功率 (W)
- R_{θJA} 为结至环境热阻 (°C/W)

验证 REF20xx 最高结温不超过 150°C 的绝对最大额定值。

8.4 器件功能模式

当 REF20xx 的 EN 引脚被拉高时，器件处于工作模式。正常运行期间，器件处于工作模式。通过将 ENABLE 引脚拉至低电平，将 REF20xx 置于低功耗模式。在关断模式下，器件的输出变为高阻抗且器件的静态电流降至 $5\mu\text{A}$ 。请参阅 [节 6.5](#)，了解有关逻辑高电压电平和逻辑低电压电平的信息。

9 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 器件规格的范围，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户应负责确定器件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计，以确保系统功能。

9.1 应用信息

本部分中的解决方案可以精准检测 -2.5A 至 2.5A 的负载电流，并具有以下特性：

- 低温漂
- 双向
- 单电源
- 低侧
- 电流检测

输出的线性范围为 250mV 至 2.75V 。正电流由 1.5V 至 2.75V 的输出电压表示。负电流由 250mV 至 1.5V 的输出电压表示。差分放大器为 [INA213](#) 电流分流监测器，电源和基准电压由低漂移 [REF2030](#) 提供。

在腐蚀性环境中使用电子产品的工业应用因暴露在高温、潮湿和腐蚀性气体中而容易遭受腐蚀性损坏。在给定系统中，以下条件同时存在会导致更高的腐蚀性损坏风险：

1. 通风外壳露出底层 PCB。
2. PCB 无保形涂层。
3. 引线外露的元件电镀层易受腐蚀。
4. 为了符合 RoHS 标准而进行的电镀工艺变更（例如去除铅 (Pb) 及某些类型的电镀层）。

为了提高对恶劣环境的耐腐蚀性，[REF2025AISDDCR](#) 采用了亚光锡 (Matte-Sn) 电镀层并改进了组装工艺，以减少暴露的铜 (Cu)，从而提高了在 [Battelle III](#) 级和类似恶劣环境下的耐腐蚀性。器件型号中的 **S** 标识特殊电镀选项。不带 **S** 的 [REF2025](#) 版本继续采用业界通用的 [NiPdAu](#) 处理工艺。

9.2 典型应用

9.2.1 低侧电流检测应用

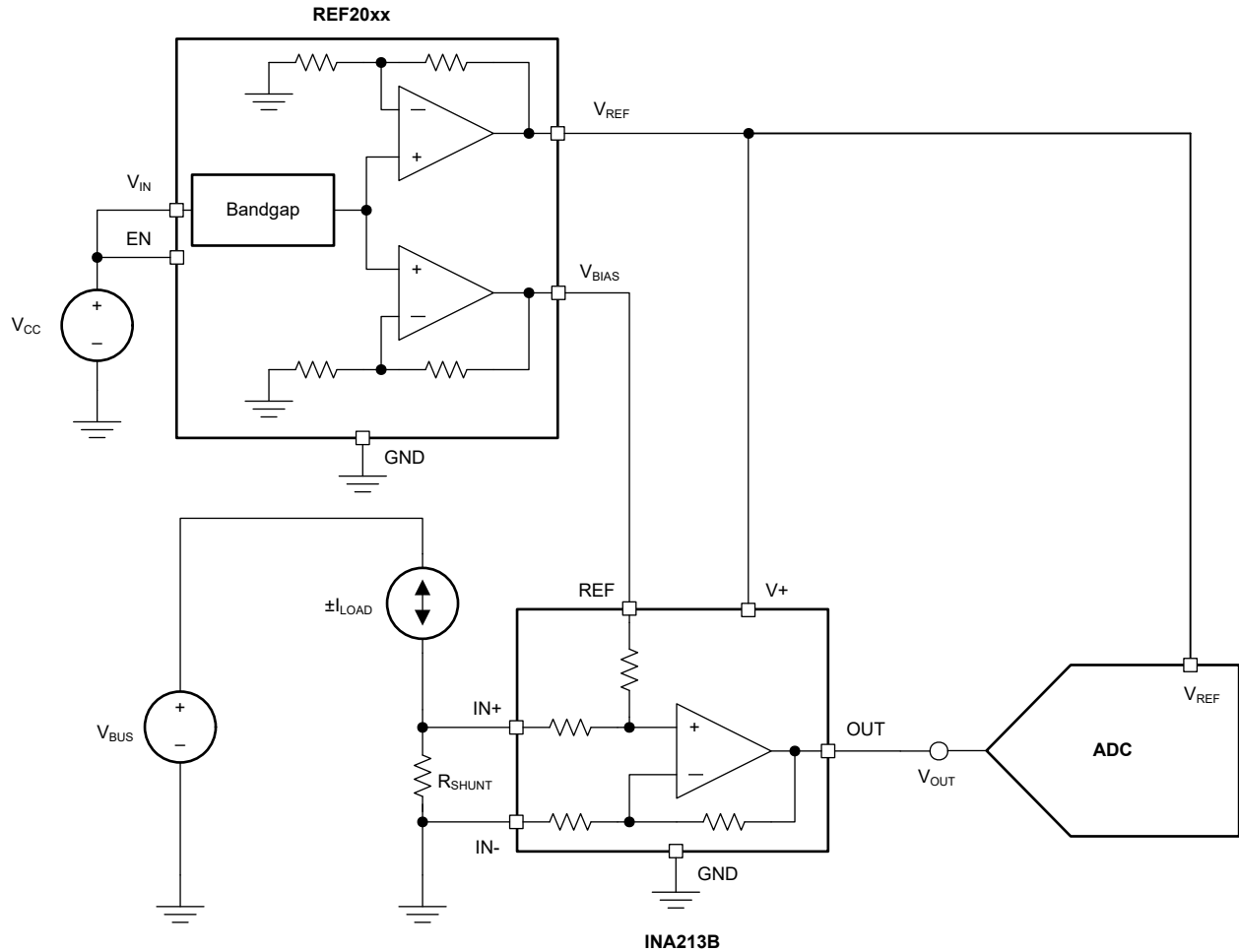


图 9-1. 低侧电流检测应用

9.2.1.1 设计要求

设计要求如下：

1. 电源电压：5.0V
2. 负载电流： $\pm 2.5\text{A}$
3. 输出：250mV 至 2.75V
4. 最大分流电压： $\pm 25\text{mV}$

9.2.1.2 详细设计过程

由于共模电压接近地电平，因此需要低侧电流检测。电流检测解决方案与总线电压 V_{BUS} 无关。检测双向电流时，请使用具有基准引脚的差分放大器。此过程通过偏置输出级响应负输入电压来区分正电流和负电流。有多种方法可以为差分放大器提供电源 ($V+$) 和基准电压 (V_{REF} 或 V_{BIAS})。对于低温漂解决方案，请使用一个同时提供电源和基准电压的单片基准。图 9-2 显示了适用于低温漂、低侧、双向电流检测解决方案的通用电路拓扑。此通用电路拓扑在与 ADC 连接时特别有用；请参阅图 9-1。该拓扑可在温度范围内跟踪 V_{REF} 和 V_{BIAS} ，并具有比其他拓扑更好的匹配度。有关设计过程的更详细版本，请参阅[低漂移双向单电源低侧电流检测参考设计](#)。

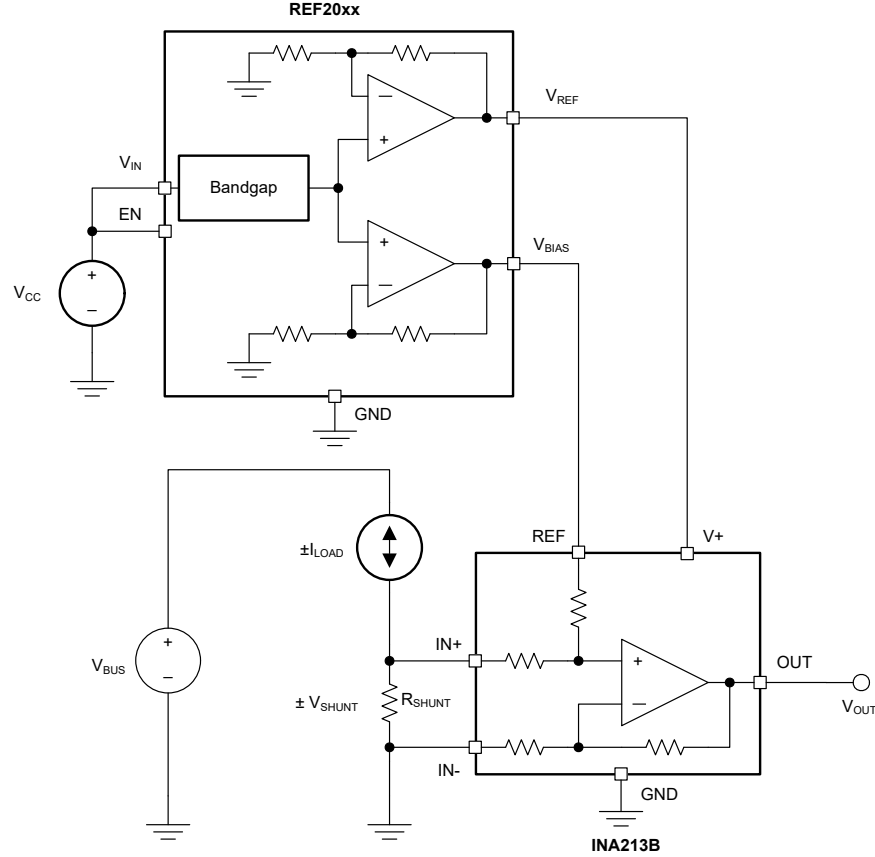


图 9-2. 低漂移、低侧、双向电流检测电路拓扑

图 9-2 中电路的传递函数如方程式 6 所示：

$$V_{OUT} = G \times (\pm V_{SHUNT}) + V_{BIAS} = G \times (\pm I_{LOAD} \times R_{SHUNT}) + V_{BIAS} \quad (6)$$

9.2.1.2.1 分流电阻

图 9-2 表明， V_{SHUNT} 的值是系统负载的接地电位。如果 V_{SHUNT} 的值过大，则在与接地电位为 0V 的系统连接时可能会出现连接问题。 V_{SHUNT} 值过低除了可能出现连接问题外，还会超出差分放大器的输入共模电压范围。因此，限制分流电阻器上的电压非常重要。使用方程式 7 计算 R_{SHUNT} 的最大值。

$$R_{SHUNT(max)} = \frac{V_{SHUNT(max)}}{I_{LOAD(max)}} \quad (7)$$

假设最大分流电压为 $\pm 25\text{mV}$ ，负载电流范围为 $\pm 2.5\text{A}$ ，使用方程式 8 计算最大分流电阻。

$$R_{SHUNT(max)} = \frac{V_{SHUNT(max)}}{I_{LOAD(max)}} = \frac{25\text{mV}}{2.5\text{A}} = 10\text{m}\Omega \quad (8)$$

为更大程度地减小温度范围内的误差，请选择低温漂分流电阻器。为更大程度地减小失调电压误差，请选择容差尽可能低的分流电阻器。本设计使用 Y14870R01000B9W 电阻器。

9.2.1.2.2 差分放大器

确认用于本设计的差分放大器包含以下特性：

1. 单电源 (3V)

2. 基准电压输入
3. 低初始输入失调电压 (V_{OS})
4. 低温漂
5. 固定增益
6. 低侧检测 (输入共模范围低于接地电压)

本设计使用电流分流监控器 (INA213)。图 9-3 展示了 INA21x 系列拓扑。INA213B 规格请参阅 [INA21x 电压输出、低侧或高侧测量、双向、零漂移系列分流监控器数据表](#)。

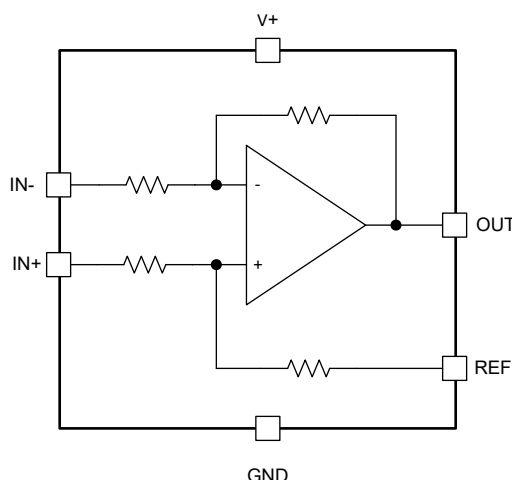


图 9-3. INA21x 电流分流监控器拓扑

INA213B 具有本应用所需的所有特性，因此是其理想的选择。通常，仪表放大器 (INA) 不具有该应用所需的输入共模摆幅到地程度。此外，INA 需要外部电阻器来设置增益，这不适合低温漂应用。差分放大器通常具有更大的输入偏置电流，这会降低小负载电流下的解决方案精度。差分放大器的增益通常为 $1V/V$ 。当增益可调时，差分放大器使用不利于低温漂应用的外部电阻器。

9.2.1.2.3 电压基准

确认此应用的电压基准包含以下特性：

1. 双路输出 (3.0V 和 1.5V)
2. 低漂移
3. 两个输出之间的跟踪误差低

此设计使用 REF2030。REF20xx 拓扑如节 8.2 所示。

REF2030 具有双路输出，是本应用的理想选择。8ppm/°C 的温漂和 0.05% 的初始精度使得本应用中由电压基准导致的误差超小。此外，两个输出之间的不匹配度很小，并且两个输出在温度范围内均具有出色的跟踪性能，如图 9-4 和图 9-5 所示。

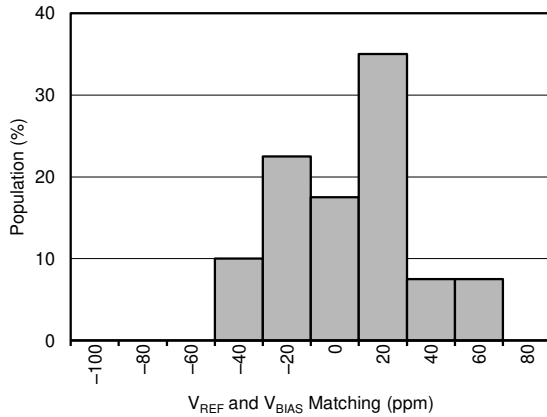


图 9-4. $V_{REF} - 2 \times V_{BIAS}$ 分布 ($T_A = 25^\circ\text{C}$ 时)

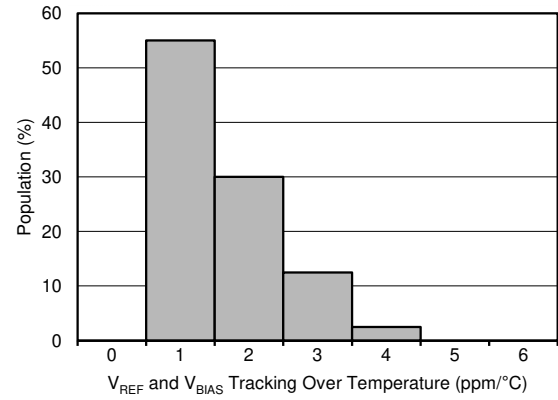


图 9-5. 在温度范围内的 $V_{REF} - 2 \times V_{BIAS}$ 漂移跟踪分布

9.2.1.2.4 结果

表 9-1 汇总了测量结果。

表 9-1. 测量结果

ERROR	未校准 (%)	已校准 (%)
整个负载电流范围内的误差 (25°C)	± 0.0355	± 0.004
整个负载电流范围内的误差 (-40°C 至 125°C)	± 0.0522	± 0.0606

9.2.1.3 应用曲线

在 25°C 下执行两点校准可消除与失调电压、增益误差等相关的误差。图 9-6、图 9-7 和图 9-8 显示了在不同条件下测得的误差。有关测量过程、校准和计算的更详细说明，请参阅[低漂移双向单电源低侧电流检测设计 参考指南](#)。

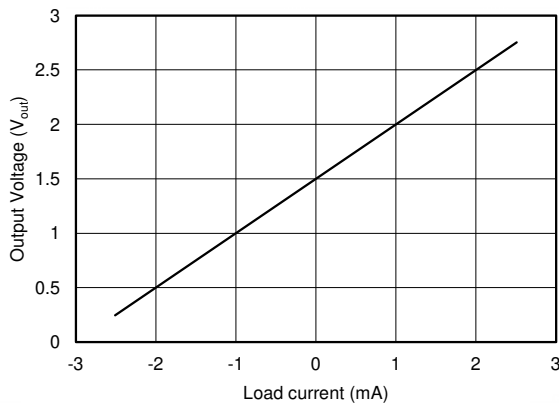


图 9-6. 经测量的传递函数

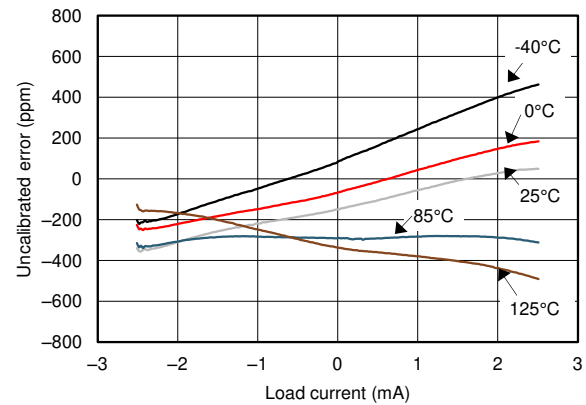


图 9-7. 未校准误差与负载电流间的关系

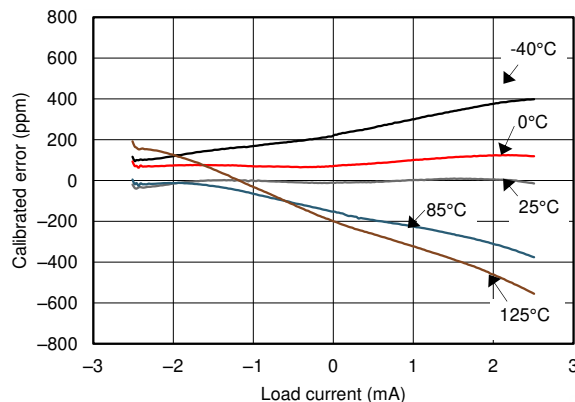


图 9-8. 校准误差与负载电流间的关系

9.3 电源相关建议

REF20xx 基准系列具有超低压降电压。可使用仅高于输出电压 20mV 的电源来运行 REF20xx 系列的基准。图 9-9 中提供了有负载基准条件下的典型压降电压与负载关系图。建议使用 0.1μF 至 10μF 之间的电源旁路电容器。

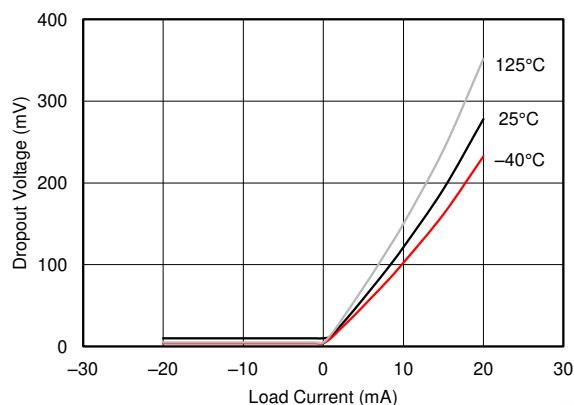


图 9-9. 压降电压与负载电流间的关系

9.4 布局

9.4.1 布局指南

图 9-10 展示了使用 REF2030 的数据采集系统的 PCB 布局示例。一些重要注意事项有：

- 在 REF2030 的 V_{IN} 、 V_{REF} 和 V_{BIAS} 处连接低 ESR 0.1 μF 陶瓷旁路电容器。
- 按照器件规格对系统中的其他工作器件进行解耦。
- 使用实心接地层可散热和降低电磁干扰 (EMI) 噪声拾取。
- 外部元件应尽量靠近器件放置。该配置可防止产生寄生误差 (如塞贝克效应)。
- 尽可能缩短连接 INA 与偏置输出以及 ADC 与基准输出的布线长度, 从而减少噪声拾取。
- 敏感的模拟布线不能与数字布线平行。尽可能避免数字布线与模拟布线交叉, 仅在绝对必要时可垂直交叉布线。

9.4.2 布局示例

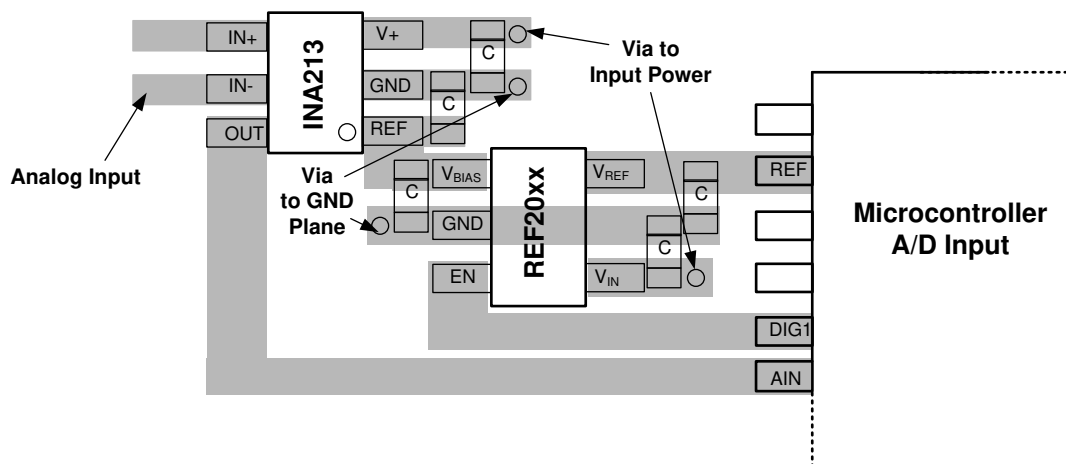


图 9-10. 布局示例

10 器件和文档支持

10.1 文档支持

10.1.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI)，[INA21x 电压输出、低侧或高侧测量、双向、零漂移系列分流监控器 数据表](#)
- 德州仪器 (TI) [低漂移双向单电源低侧电流检测设计 参考设计](#)
- 德州仪器 (TI)，[半导体和 IC 封装热指标 应用手册](#)

10.2 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 [ti.com](https://www.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。

10.3 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](#)。

10.4 商标

e-Trim™ and TI E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

10.5 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。

10.6 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。

11 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 E (January 2022) to Revision F (June 2026)	Page
• 将 REF2025、REF2030、REF2033、REF2041 器件移至 TI.com 上的 REF20 产品文件夹，并更新了数据表标题.....	1
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1

Changes from Revision D (May 2018) to Revision E (January 2022)	Page
• 更新了“应用”部分.....	1
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 更改了 ESD 额定值表 ：将 HBM 额定值从 $\pm 4000V$ 更改为 $\pm 2500V$	5
• 更新了长期稳定性值.....	6

- 向“参数测量信息”部分中添加了“长期稳定性”小节..... **15**
-

12 机械、封装和可订购信息

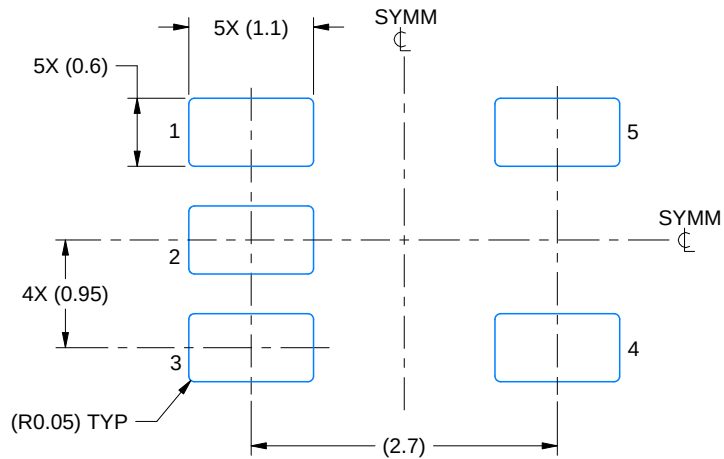
以下页面包含机械、封装和可订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

EXAMPLE BOARD LAYOUT

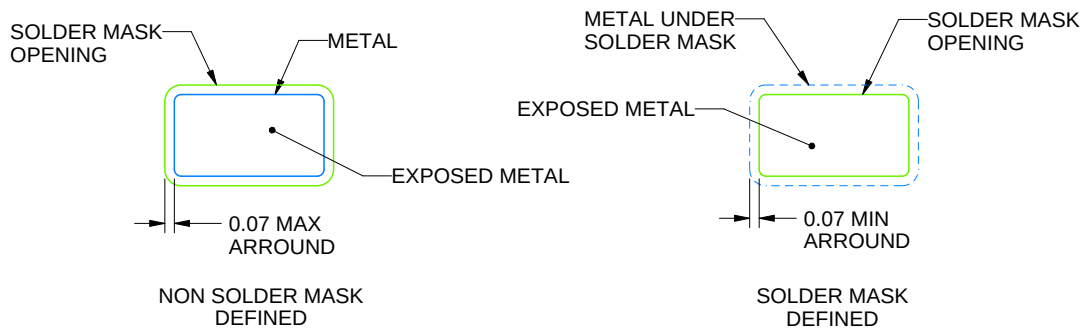
DDC0005A

SOT-23 - 1.1 max height

SMALL OUTLINE TRANSISTOR



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPLODED METAL SHOWN
SCALE:15X



SOLDERMASK DETAILS

4220752/C 08/2024

NOTES: (continued)

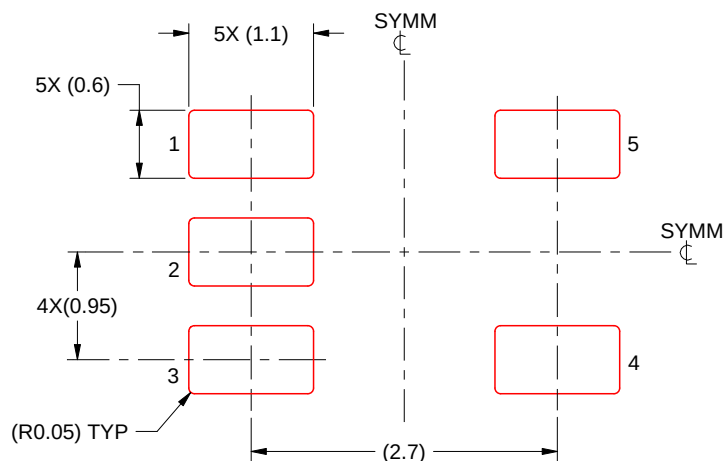
4. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
5. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DDC0005A

SOT-23 - 1.1 max height

SMALL OUTLINE TRANSISTOR



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

4220752/C 08/2024

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