

XTR106 具有桥励磁和线性化的 4mA 至 20mA 电流变送器

1 特性

- 总体未调整误差较低
- 2.5V、5V 桥励磁基准
- 5.1V 稳压器输出
- 低跨度漂移： $\pm 25\text{ppm}/^\circ\text{C}$ (最大值)
- 低温漂： $0.25\text{ }\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- 高 PSRR：110dB (最小值)
- 高 CMRR：86dB (最小值)
- 宽电源电压范围：7.5V 至 36V
- 14 引脚 DIP 和 SOIC 封装选项

2 应用

- 现场变送器和传感器
- 工厂自动化
- 与 HART 调制解调器兼容
- 压力和温度桥式变送器
- 工业过程控制
- SCADA 远程数据采集
- 称量系统
- 应变仪变送器
- 加速计

3 说明

XTR106 是一款单片 4mA 至 20mA 两线制电流变送器，专为成本优化型桥式传感器应用而设计。此器件可提供完整的桥励磁 (以 2.5V 或 5V 为基准)、仪表放大器、传感器线性化，以及电流输出电路。可通过 V_{REG} 引脚为其他外部输入电路供电的电流。

仪表放大器可用于宽增益范围，从而适应多种输入信号类型和传感器。包括线性化电桥在内的整个电流变送器的总体未调整误差足够低，以允许在未经调整的情况下用于很多应用。XTR106 在低至 7.5V 的环路电源电压上工作。

线性化电路通过控制桥励磁电压来为传递函数提供二阶校正。即使与成本优化型的传感器配合使用，该器件也能提供高达 20 倍的非线性改进。

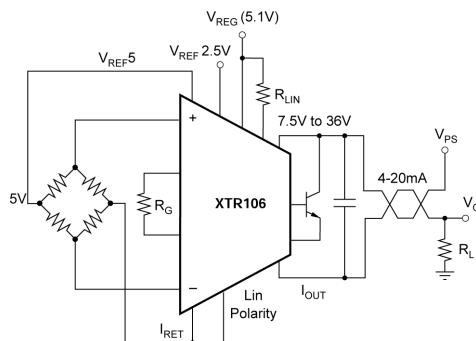
XTR106 采用 14 引脚塑料 DIP 和 14 引脚 SOIC 表面贴装式封装，并且其额定温度范围为 -40°C 至 $+85^\circ\text{C}$ 。该器件的工作温度范围为 -40°C 至 $+125^\circ\text{C}$ 。

封装信息

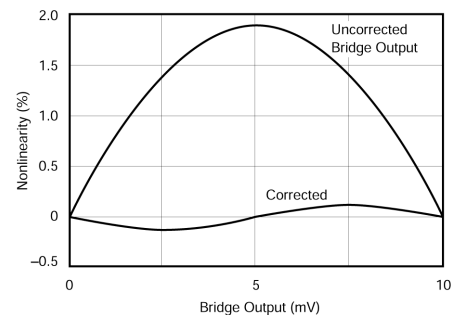
器件型号	封装 ⁽¹⁾	封装尺寸 ⁽²⁾
XTR106	D (SOIC, 14)	8.65mm × 6mm
	N (PDIP, 14)	19.3mm × 9.4mm

(1) 有关所有可用封装，请参阅 节 10。

(2) 封装尺寸 (长 × 宽) 为标称值，并包括引脚 (如适用)。



使用 XTR106 进行电桥非线性校正



XTR106 电桥非线性校正



内容

1 特性	1	7.1 应用信息	17
2 应用	1	7.2 典型应用	23
3 说明	1	7.3 布局	25
4 引脚配置和功能	3	7.4 布局指南	25
5 规格	4	8 器件和文档支持	26
5.1 绝对最大额定值.....	4	8.1 器件命名规则.....	26
5.2 建议运行条件.....	4	8.2 文档支持.....	26
5.3 热性能信息.....	4	8.3 相关文档.....	26
5.4 电气特性.....	5	8.4 接收文档更新通知.....	26
5.5 典型特性.....	7	8.5 支持资源.....	26
6 详细说明	11	8.6 商标.....	26
6.1 概述.....	11	8.7 静电放电警告.....	26
6.2 功能方框图.....	12	8.8 术语表.....	26
6.3 特性说明.....	12	9 修订历史记录	27
6.4 器件功能模式.....	16	10 机械、封装和可订购信息	27
7 应用和实施	17		

4 引脚配置和功能

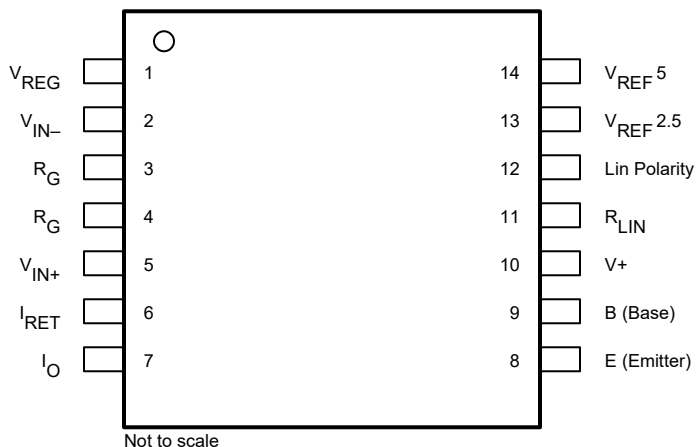


图 4-1. D 封装，14 引脚 SOIC 和 N 封装，14 引脚 PDIP (顶视图)

表 4-1. 引脚功能

引脚		类型	说明
名称	编号		
B (基极)	9	输出	外部晶体管的基极连接
E (发射极)	8	输入	外部晶体管的发射极连接
I _O	7	输出	稳压 4mA 至 20mA 电流环路输出
I _{RET}	6	输入	V _{REG} 、V _{REF5} 和 V _{REF2.5} 的本地接地返回引脚
Lin 极性	12	输入	线性校正电路极性设置。连接到 I _{RET} 以校正正向非线性，或连接到 V _{REG} 以校正负向非线性或不使用线性校正功能
R _G	3、4	—	输入级增益设置引脚。引脚 3 和 4 之间的电阻 R _G 设置电压-电流传递函数的增益
R _{LIN}	11	—	线性校正电阻器引脚。引脚 1 和 11 之间的电阻 R _{LIN} 设置线性校正电路的校正系数
V+	10	电源	环路电源
V _{IN-}	2	输入	负 (反相) 差分电压输入
V _{IN+}	5	输入	正 (同相) 差分电压输入
V _{REF5}	14	输出	5V 参考电压输出
V _{REF2.5}	13	输出	2.5V 参考电压输出
V _{REG}	1	输出	5.1V 稳压器电压输出

5 规格

备注

TI 为此器件鉴定了多个制造流程。性能差异按芯片原产地 (CSO) 进行了标记。为确保系统稳健性，强烈建议针对所有流程进行设计。有关更多信息，请参阅节 8.1。

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+	电源（以 I _O 引脚为基准）		40	V
	输入电压，V _{IN+} 或 V _{IN-} （以 I _{RET} 引脚为基准）	0	V+	V
	输出电流限制		持续	
T _{stg}	贮存温度	-55	125	°C
	引线温度（焊接，10s）		300	°C
T _J	结温		165	°C
T _A	工作温度	-40	125	°C

- (1) 超出绝对最大额定值范围操作可能会导致器件永久损坏。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。

5.2 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+	电源（参考 I _O 引脚）	7.5	24	36	V
T _A	额定温度	-40		85	°C

5.3 热性能信息

热指标 ⁽¹⁾		XTR106		单位
		14 引脚		
		D (SOIC)	N (PDIP)	
R _{θJA}	结至环境热阻	86.8	51.8	°C/W
R _{θJC(top)}	结至外壳 (顶部) 热阻	46.9	29.4	°C/W
R _{θJB}	结至电路板热阻	46.0	24.2	°C/W
ψ _{JT}	结至顶部特征参数	9.6	7.8	°C/W
ψ _{JB}	结至电路板特征参数	45.6	23.7	°C/W
R _{θJC(bot)}	结至外壳 (底部) 热阻	不适用	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。

5.4 电气特性

在 $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ 、 $V_+ = 24\text{V}$ 、使用 TIP29C 外部电阻和所有芯片原产地 (CSO) 的条件下测得 (除非另有说明)。

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
输出							
I _O	输出电流公式	V _{IN} 单位为伏特, R _G 单位为 Ω		I _O = V _{IN} * (40 / R _G) + 4mA			A
	输出电流, 指定的范围			4		20	mA
I _{OVER}	过量程限制			24	28	30	mA
I _{UNDER}	欠量程限制	I _{REG} = 0, I _{REF} = 0		1	1.6	2.2	mA
		I _{REF} + I _{REG} = 2.5mA		2.9	3.4	4	
零输出							
I _{ZERO}	零输出 ⁽¹⁾	(V _{IN} = 0V, R _G = ∞)		4			mA
	初始误差	XTR106P、XTR106U		±5		±25	μA
		XTR106PA、XTR106UA		±5		±50	
	与温度间的关系	T _A = -40°C 至 +85°C		±0.07		±0.9	μA/°C
	与电源电压间的关系, V+	V+ = 7.5V 至 36V		0.04		0.2	μA/V
	与共模电压 (CMRR) 间的关系	V _{CM} = 1.1V 至 3.5V ⁽⁵⁾		0.02			μA/V
	与 V _{REG} (I _O) 间的关系			0.8			μA/mA
i _n	噪声	0.1Hz 至 10Hz	CSO : TID	0.016			μApp
			CSO : SHE	0.035			
跨度							
S	跨度公式 (跨导)			S = 40 / R _G			A/V
	未修整误差	满量程 (V _{IN}) = 50mV	XTR106P、XTR106U	±0.05		±0.2	%
			XTR106PA、XTR106UA	±0.05		±0.4	
	与温度间的关系 ⁽²⁾	T _A = -40°C 至 +85°C		±3		±25	ppm/°C
	非线性: 理想输入 ⁽³⁾	满量程 (V _{IN}) = 50mV		±0.001		±0.01	%
输入							
V _{OS}	偏移电压 ⁽⁴⁾	V _{CM} = 2.5V	XTR106P、XTR106U	±50		±100	μV
			XTR106PA、XTR106UA	±50		±250	
	与温度间的关系	T _A = -40°C 至 +85°C	XTR106P、XTR106U	±0.25		±1.5	μV/°C
			XTR106PA、XTR106UA	±0.25		±3	
	与电源电压间的关系, V+	V+ = 7.5V 至 36V		±0.1		±3	μV/V
CMRR	与共模电压间的关系, RTI	V _{CM} = 1.1V 至 3.5V ⁽⁵⁾	XTR106P、XTR106U	±10		±50	μV/V
			XTR106PA、XTR106UA	±10		±100	
V _{CM}	共模范围 ⁽⁵⁾			1.1		3.5	V
I _B	输入偏置电流	XTR106P、XTR106U		5		25	nA
		XTR106PA、XTR106UA		5		50	
	与温度间的关系	T _A = -40°C 至 +85°C		20			pA/°C
I _{OS}	输入失调电流	XTR106P、XTR106U		±0.2		±3	nA
		XTR106PA、XTR106UA		±0.2		±10	
	与温度间的关系	T _A = -40°C 至 +85°C		5			pA/°C
Z _{IN}	阻抗	差分		0.1 1			GΩ pF
		共模	CSO : SHE	5 10			
			CSO : TID	5 10			
V _n	噪声	0.1Hz 至 10Hz		0.6			μVpp

在 $T_A = +25^\circ\text{C}$ 、 $V_+ = 24\text{V}$ 、使用 TIP29C 外部电阻和所有芯片原产地 (CSO) 的条件下测得 (除非另有说明)。

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
电压基准							
V _{REF2.5}	初始 2.5V 参考电压	Lin 极性连接到 V _{REF} , R _{LIN} = 0 ⁽⁵⁾		2.5		V	
V _{REF5}	初始 5V 参考电压			5			
	精度	V _{REF} = 2.5V 或 5V	XTR106P、XTR106U	±0.05	±0.25	%	
			XTR106PA、XTR106UA	±0.05	±0.5		
	与温度间的关系 ⁽⁶⁾	T _A = -40°C 至 +85°C	XTR106P、XTR106U	±20	±35	ppm/°C	
			XTR106PA、XTR106UA	±20	±75		
	与电源电压间的关系, V+	V+ = 7.5V 至 36V		±5	±20	ppm/V	
	与负载间的关系	I _{REF} = 0mA 至 2.5mA		60		ppm/mA	
	噪声	0.1Hz 至 10Hz		10		μVpp	
V _{REG}							
V _{REG}	稳压器电压 ⁽⁵⁾			5.1		V	
	精度	I _{REG} = 0		±0.02	±0.1	V	
	与温度间的关系	T _A = -40°C 至 +85°C	CSO : SHE	±0.3		mV/°C	
			CSO : TID	±0.5			
	与电源电压间的关系, V+	V+ = 7.5V 至 36V		1		mV/V	
I _{REG}	输出电流			请参阅典型曲线		mA	
	输出阻抗	I _{REG} = 0mA 至 2.5mA		80		Ω	
线性化							
R _{LIN}	R _{LIN} (外部) 公式 ⁽⁷⁾	K _{LIN} 以 Ω 为单位, B 为相对于 V _{FS} 的非线性		R _{LIN} = K _{LIN} * 4B / (1 - 2B)		Ω	
K _{LIN}	K _{LIN} 线性化系数	V _{REF} = 5V		6.645		kΩ	
		V _{REF} = 2.5V		9.905			
	R _{LIN} 精度			±1	±5	%	
	与温度之间的关系	T _A = -40°C 至 +85°C		±50	±100	ppm/°C	
B	最大可校正传感器非线性	V _{REF} = 5V		±5		FS 百分比	
		V _{REF} = 2.5V		- 2.5、+5			

- (1) 描述 4mA 低量程偏移电流的精度。不包括输入放大器效应。可以修整为零。
- (2) 不包括增益设置电阻器 R_G 的初始误差或 TCR。
- (3) 增加满量程输入范围可改进非线性。
- (4) 不包括零输出初始误差。
- (5) 相对于 I_{RET} 引脚测得的电压。
- (6) 使用箱形法计算： $(\text{MAX}_{(-40^\circ\text{C} \text{ 至 } 85^\circ\text{C})} - \text{MIN}_{(-40^\circ\text{C} \text{ 至 } 85^\circ\text{C})}) / (85^\circ\text{C} - (-40^\circ\text{C}))$ 。
- (7) 有关详细说明, 请参阅线性化 (第 6.3.1 节)。 V_{FS} = 满量程 V_{IN}

5.5 典型特性

$T_A = +25^\circ\text{C}$ 、 $V_+ = 24\text{V}$ 和所有芯片原产地 (CSO) 的条件下测得 (除非另有说明)。

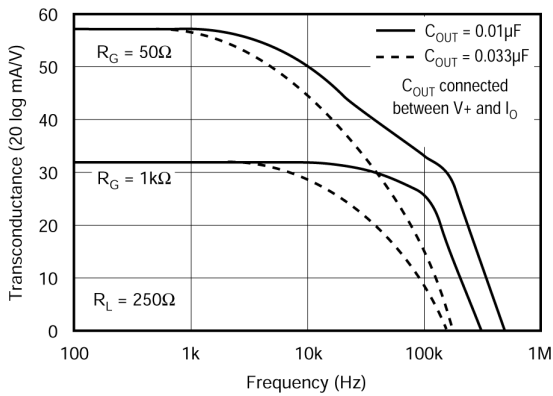


图 5-1. 跨导与频率间的关系

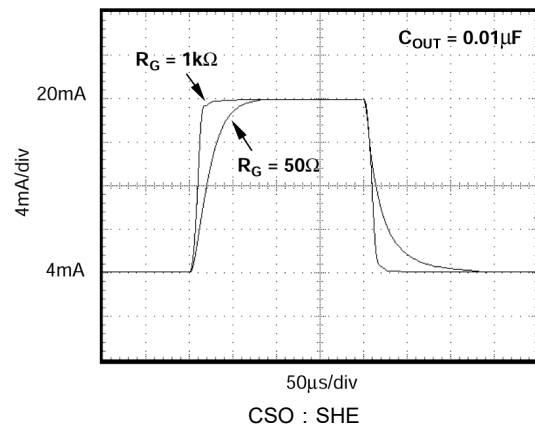


图 5-2. 阶跃响应

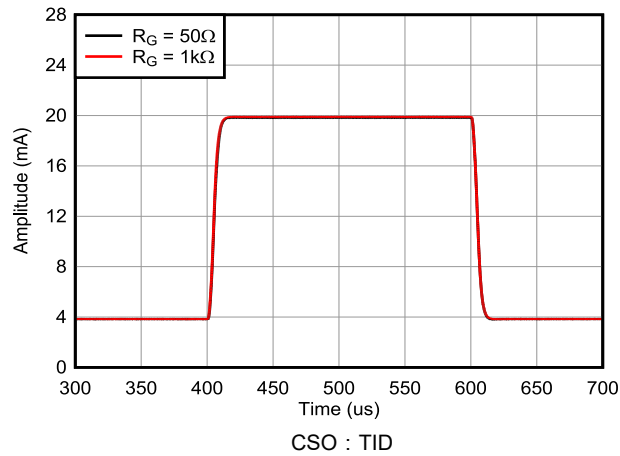


图 5-3. 阶跃响应

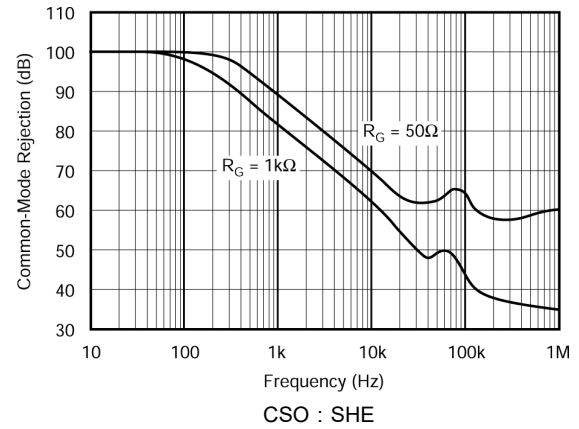


图 5-4. 共模抑制与频率间的关系

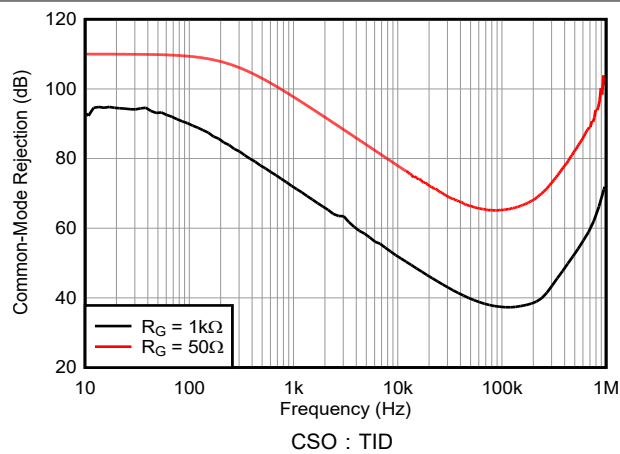


图 5-5. 共模抑制与频率间的关系

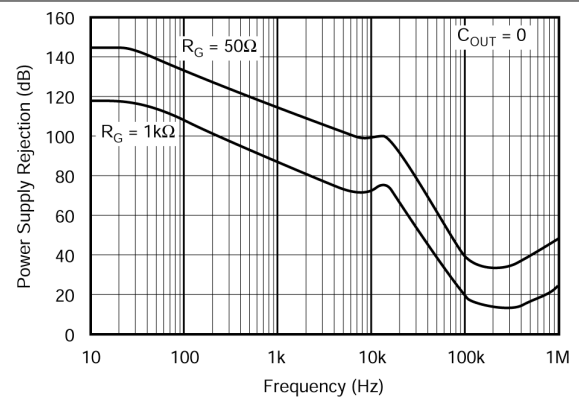


图 5-6. 电源抑制与频率间的关系

5.5 典型特性 (续)

$T_A = +25^\circ\text{C}$ 、 $V_+ = 24\text{V}$ 和所有芯片原产地 (CSO) 的条件下测得 (除非另有说明)。

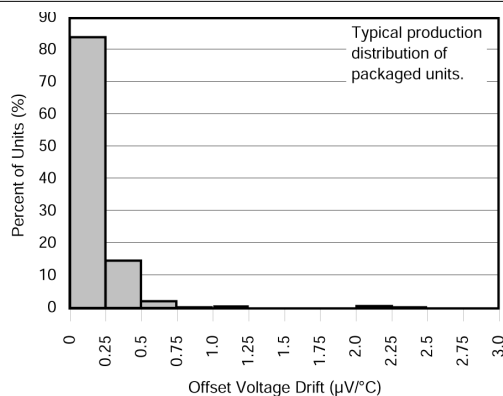


图 5-7. 输入偏移电压漂移产生分布

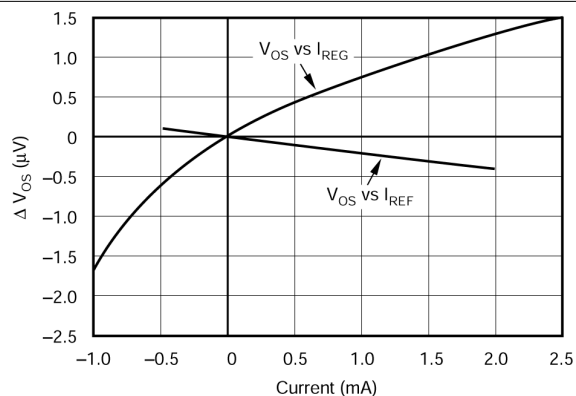


图 5-8. 输入偏移电压变化与 V_{REG} 和 V_{REF} 电流间的关系

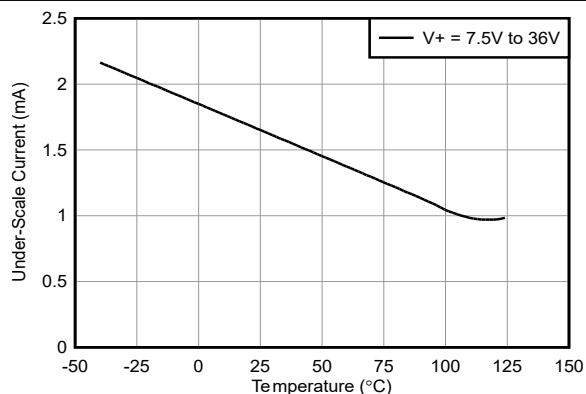


图 5-9. 欠量程电流与温度间的关系

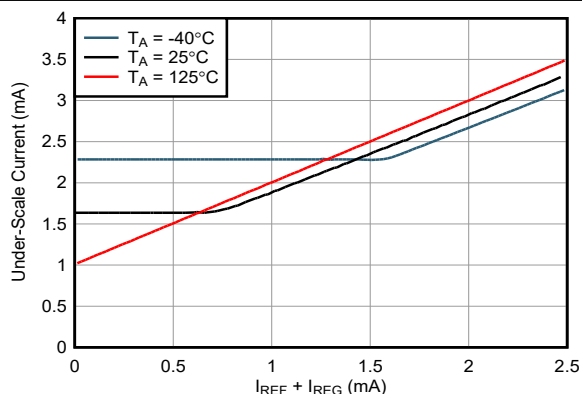


图 5-10. 欠量程电流与 $I_{REF} + I_{REG}$ 间的关系

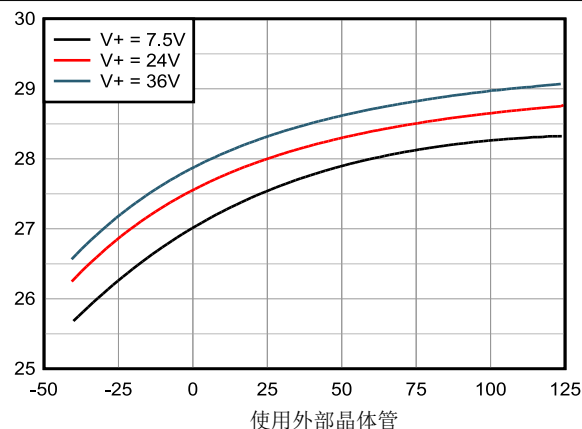


图 5-11. 超量程电流与温度的关系

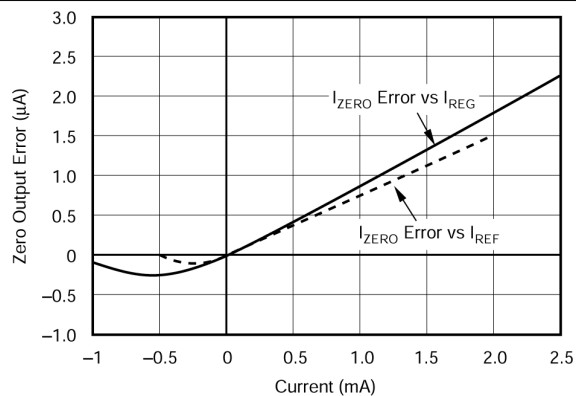


图 5-12. 零输出误差与 V_{REF} 和 V_{REG} 电流间的关系

5.5 典型特性 (续)

$T_A = +25^{\circ}\text{C}$ 、 $V_+ = 24\text{V}$ 和所有芯片原产地 (CSO) 的条件下测得 (除非另有说明)。

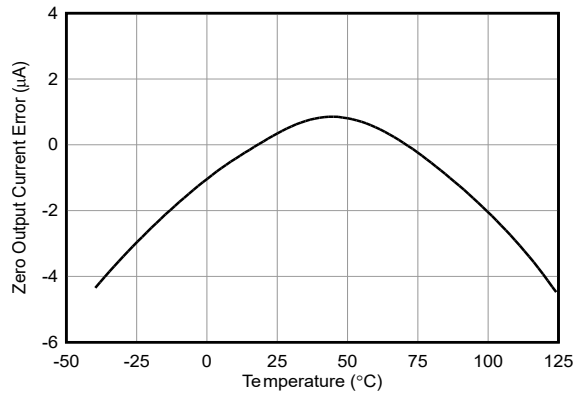


图 5-13. 零输出电流误差与温度间的关系

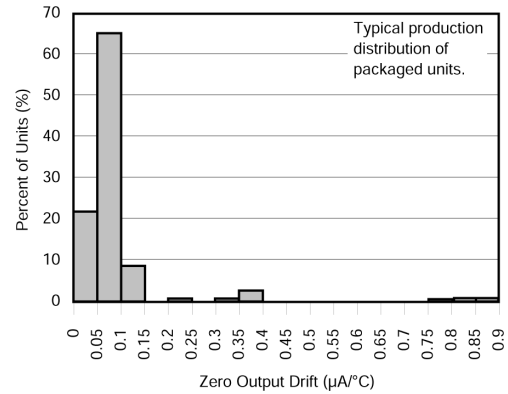


图 5-14. 零输出漂移产生分布

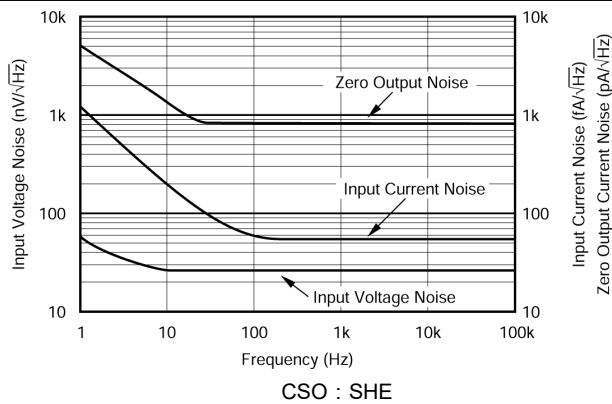


图 5-15. 输入电压、输入电流和零输出电流噪声密度与频率间的关系

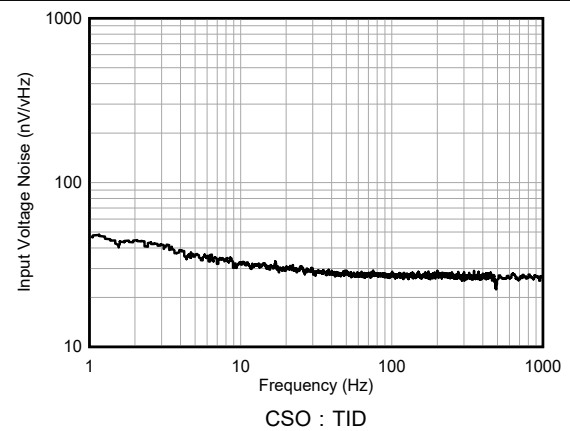


图 5-16. 输入电压噪声密度与频率间的关系

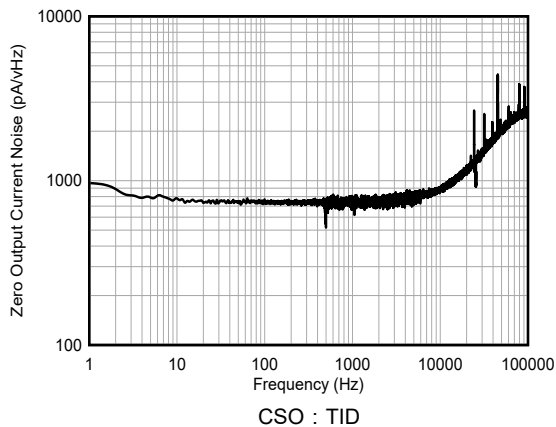


图 5-17. 零输出电流噪声密度与频率间的关系

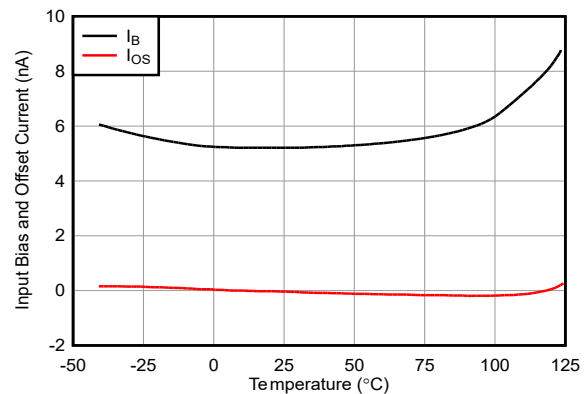


图 5-18. 输入偏置和失调电流与温度间的关系

5.5 典型特性 (续)

$T_A = +25^\circ\text{C}$ 、 $V_+ = 24\text{V}$ 和所有芯片原产地 (CSO) 的条件下测得 (除非另有说明)。

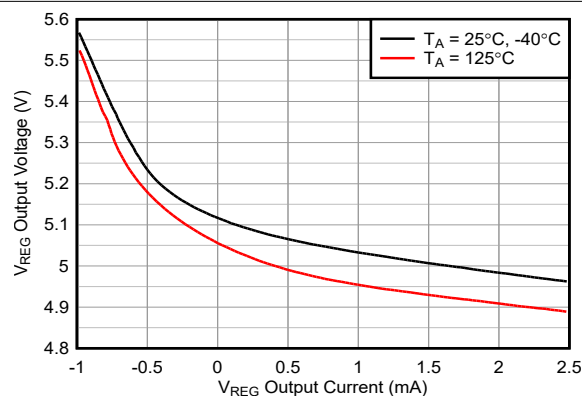


图 5-19. V_{REG} 输出电压与 V_{REG} 输出电流间的关系

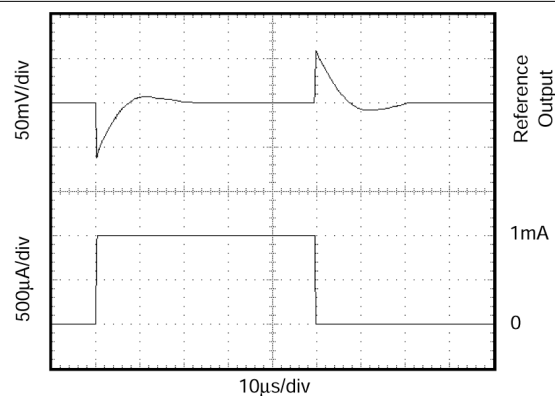


图 5-20. V_{REF5} 基准瞬态响应

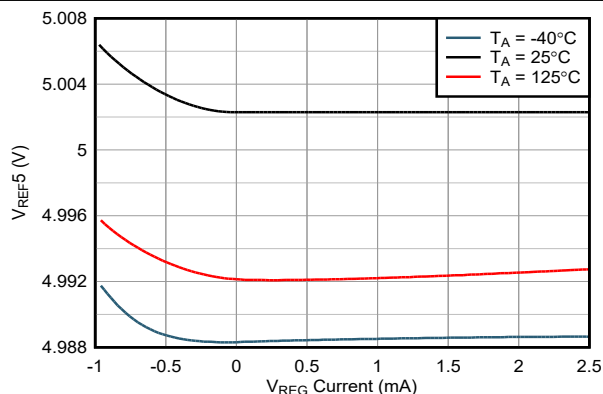


图 5-21. V_{REF5} 与 V_{REG} 输出电流间的关系

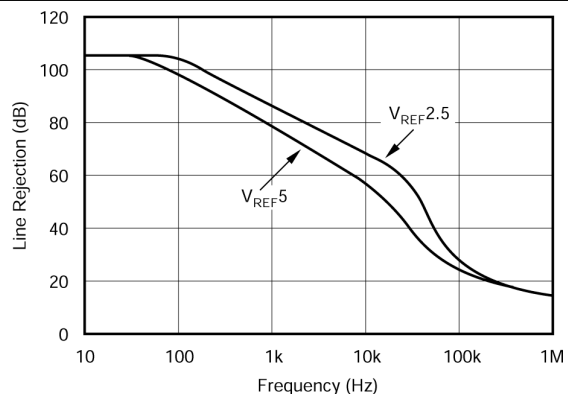


图 5-22. 参考交流线路抑制与频率间的关系

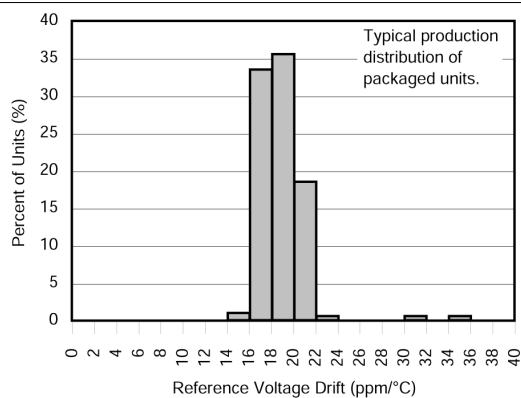


图 5-23. 参考电压漂移产生分布

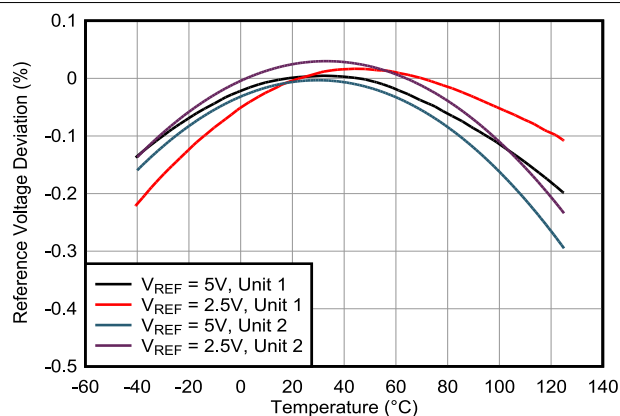


图 5-24. 参考电压偏差与温度间的关系

6 详细说明

6.1 概述

XTR106 是一款带有差分电压输入的单片 4mA 至 20mA、2 线制电流发送器。图 6-1 展示了 XTR106 的简化原理图。回路电源 V_+ 为所有电路供电。输出回路电流由 XTR106 调制，通常作为串联负载电阻器上的电压 (R_L) 进行测量。

XTR106 的仪表放大器输入测量同相和反相输入之间的电压差。然后根据 R_G 的值增大该差值，并表示为调节后的电流输出。

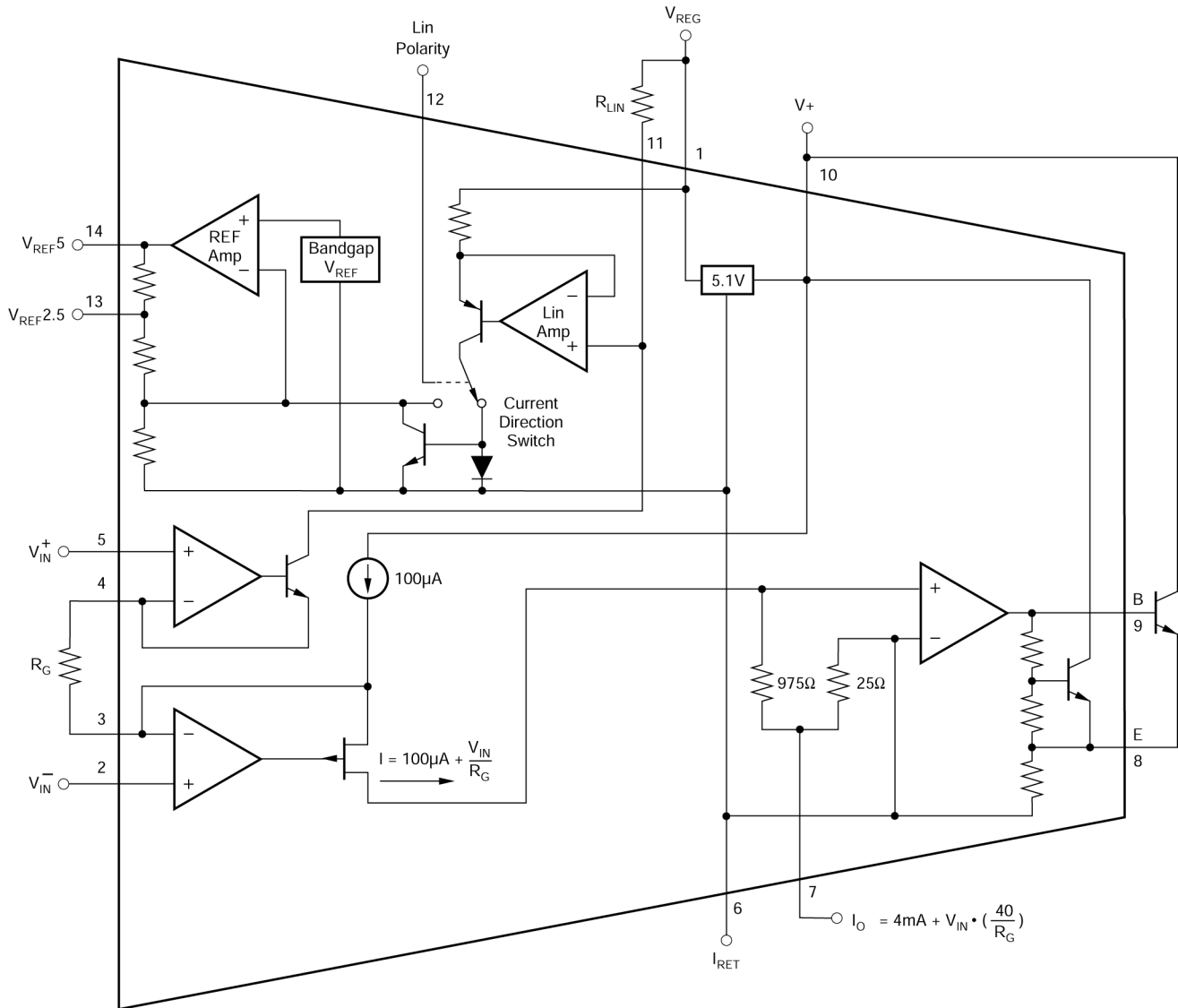
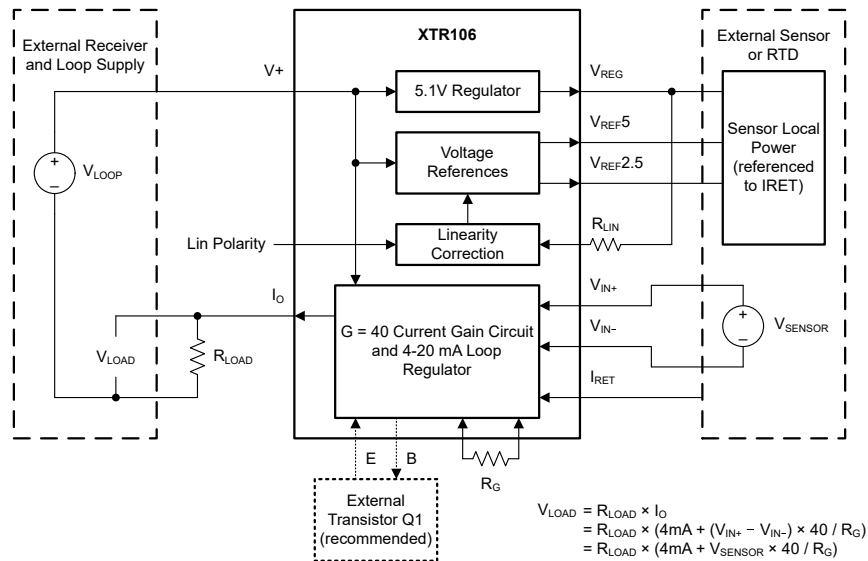


图 6-1. 简化版原理图

6.2 功能方框图



6.3 特性说明

6.3.1 线性化

许多桥式传感器都固有非线性特征。通过添加一个外部电阻器,可以对抛物线非线性度进行补偿,并且相对于未补偿电桥输出实现高达 20 倍的改进。

线性校正通过改变桥励磁电压来实现。桥励磁电压的信号相关变化为整体传递函数（包括电桥）增加了一个二阶项。可对该配置进行调整，以校正桥式传感器的非线性。

正确设置 **Lin** 极性引脚可以补偿正电桥或负电桥的非线性误差。要校正正向电桥非线性（向上弯曲），请将 **Lin** 极性（引脚 12）连接到 **I_{RET}**（引脚 6）；另请参阅 图 6-2。此校正会导致 **V_{REF}** 随电桥输出增加，从而补偿电桥响应中的向上弯曲。要校正负向非线性（向下弯曲），请将 **Lin** 极性连接到 **V_{REG}**（引脚 1）；另请参阅 图 6-3。此校正会导致 **V_{REF}** 随电桥输出降低。**Lin** 极性引脚是一个高阻抗节点。

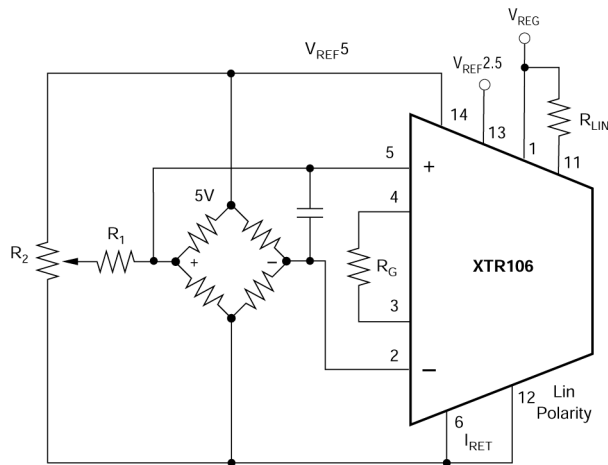


图 6-2. 针对正向电桥非线性的连接, $V_{REF} = 5V$

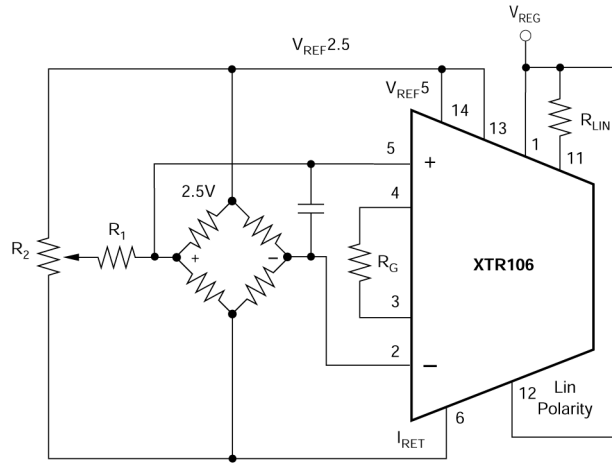


图 6-3. 针对负向电桥非线性的连接, $V_{REF} = 2.5V$

如果不需要线性校正, 请将 R_{LIN} 和 Lin 极性引脚连接到 V_{REG} (另请参阅图 6-4)。此连接可产生独立于输入信号的恒定参考电压。

备注

请勿使 R_{LIN} 或 Lin 极性引脚开路或连接到另一个电势。

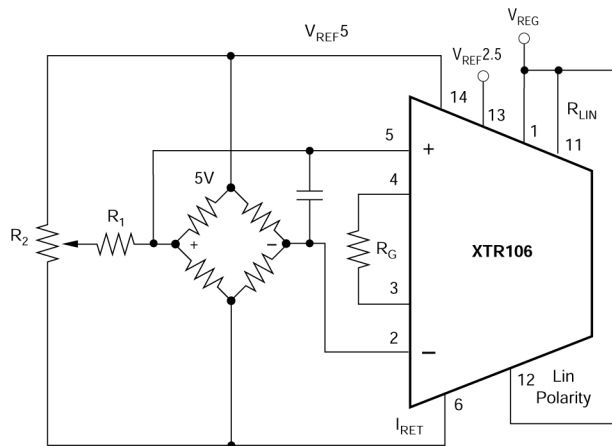


图 6-4. 如果不需要线性校正, 则进行连接, $V_{REF} = 5V$

R_{LIN} 是外部线性化电阻, 连接在引脚 11 和引脚 1 (V_{REG}) 之间; 另请参阅图 6-2 和图 6-3。为了确定 R_{LIN} 的值, 必须知道桥式传感器在恒定励磁电压下的非线性度。XTR106 线性电路只能补偿传感器非线性的抛物线形状部分。当线性输出的最大偏差出现在量程中点时, 即可实现理想校正 (参阅图 7-3 和图 7-4)。非线性曲线与图 7-3 和图 7-4 所示相似但不会恰好在量程中点达到峰值的传感器仍然可以获得大幅改进。

具有 S 形非线性曲线 (正负非线性相等) 的传感器无法通过使用 XTR106 校正电路来实现改进。根据 [方程式 1](#) 选择 R_{LIN} 的值。 R_{LIN} 取决于线性化系数 K_{LIN} ，该系数在 2.5V 参考电压和 5V 参考电压下有所不同。传感器非线性项 B (相对于满量程) 是正数或负数，具体取决于弯曲的方向。

线性化电阻器：

$$R_{LIN} = \left| K_{LIN} \times \frac{4B}{1-2B} \right| \quad (1)$$

其中：

- K_{LIN} 是线性化系数 (以 Ω 为单位)
- 在 2.5V 参考电压下， K_{LIN} 为 9905Ω
- 在 5V 参考电压下， K_{LIN} 为 6645Ω
- B 是传感器相对于 V_{FS} 的非线性度 (如非线性度为 -2.5% ，则 $B = -0.025$)
- V_{FS} 是未线性化的满量程电桥输出 (以 V 为单位)

使用 5V 参考电压时，可校正最大 $\pm 5\%$ 的非线性度。 $+5\%/-2.5\%$ 的传感器非线性度可通过 2.5V 励磁进行校正。[图 6-5](#) 所示的修整电路可用于电桥非线性极性未知的电桥。

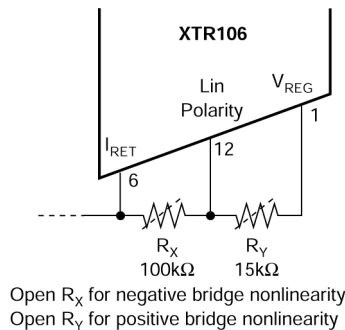


图 6-5. 针对未知电桥非线性极性的板载电阻器电路

增益受用于校正电桥非线性的变化励磁电压的影响。增益电阻器的修正值通过 [方程式 2](#) 计算得出。

增益设置电阻器：

$$R_G = \frac{V_{FS}}{400\mu A} \times \frac{1+2B}{1-2B} \quad (2)$$

其中：

- V_{FS} 是未线性化的满量程电桥输出 (以 V 为单位)

使用线性校正时，将传感器输出共模电压保持在 XTR106 允许的输入范围内，即 1.1V 至 3.5V。[方程式 3](#) 可用于计算 XTR106 新的励磁电压。如果未使用共模电阻器，则电桥输出的共模电压只是此值的一半 (另请参阅 [图 6-2](#) 和 [图 6-3](#) 中的示例)。超出共模范围会产生不可预测的结果。

调整了满量程输出的励磁电压：

$$V_{REF(Adj)} = V_{REF(Initial)} \times \frac{1+2B}{1-2B} \quad (3)$$

对于高精度应用 (误差 < 1%) , 可采用两步校准过程。首先, 使用初始增益电阻器和 $R_{LIN} = 0$ (R_{LIN} 引脚直接连接到 V_{REG}) 来测量传感器电桥的非线性度。使用得到的传感器非线性度 B , 使用 [方程式 1](#) 和 [方程式 2](#) 计算 R_G 和 R_{LIN} 的值。然后, 可进行第二次校准测量来调整 R_G , 以考虑线性化中的失调电压和失配。

示例:

计算相对于 V_{FS} 具有 2.5% 向下弯曲非线性的桥式传感器的 R_{LIN} 和由此产生的 R_G , 并确定输入共模范围是否有效。

对于 $V_{REF} = 2.5V$ 和 $V_{FS} = 50mV$

对于 2.5% 的向下弯曲, $B = -0.025$ (Lin 极性引脚连接到 V_{REG})

对于 $V_{REF} = 2.5V$, $K_{LIN} = 9905 \Omega$

$$R_{LIN} = \left| \frac{(9905\Omega)(4)(-0.025)}{1 - (2)(-0.025)} \right| = 943\Omega \quad (4)$$

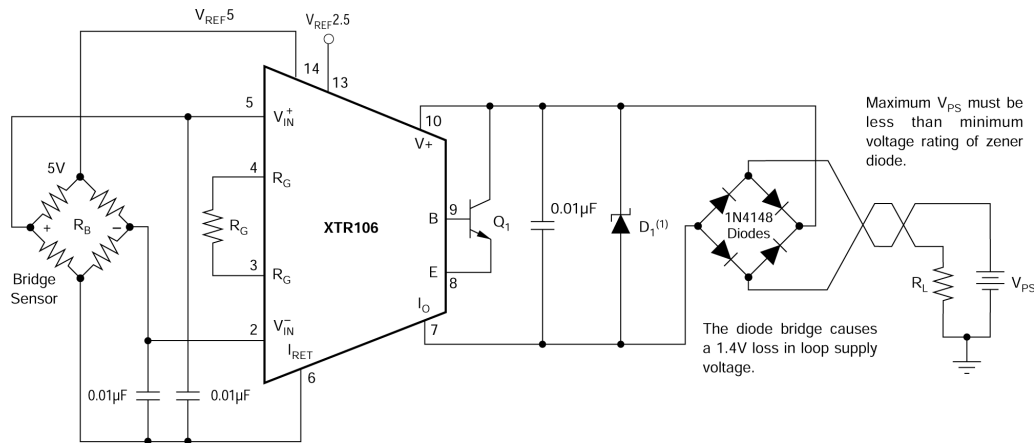
$$R_G = \frac{0.05V}{400\mu A} \times \frac{1 + (2)(-0.025)}{1 - (2)(-0.025)} = 113\Omega \quad (5)$$

$$V_{CM} = \frac{V_{REF}(Adj)}{2} = \frac{1}{2} \times 2.5V \times \frac{1 + (2)(-0.025)}{1 - (2)(-0.025)} = 1.13V \quad (6)$$

处于 1.1V 至 3.5V 输入共模范围内。

6.3.2 反向电压保护

XTR106 的低顺从额定值 (7.5V) 允许使用多种电压保护方法, 而且不会影响工作范围。[图 6-6](#) 展示了一个二极管桥电路, 该电路即使在电压连接线反接时也能实现正常运行。电桥会导致环路电源电压出现两个二极管压降 (约 1.4V) 损耗。这会产生大约 9V 的顺从电压, 对于大多数应用来说都是安全的。如果回路电源的 1.4V 压降过大, 可以将二极管与回路电源电压和 $V+$ 引脚串联, 如 [图 7-6](#) 中所示。这可以防止反向输出连接线路, 环路电源电压损耗仅为 0.7V。



(1) 36V 齐纳二极管, 例如 1N4753A 或 P6KE39A。使用环路电源电压低于 30V 的低压齐纳二极管可实现增强保护。

图 6-6. 反向电压运行和过压浪涌保护

6.3.3 过压浪涌保护

与电流变送器的远程连接有时受到电压浪涌的影响。将施加到 **XTR106** 的最大浪涌电压限制在最低实际值。各种齐纳二极管和浪涌钳位二极管都是专门为此目的而设计的。选择额定电压尽可能低的钳位二极管，以提供出色保护。例如，**36V** 保护二极管可在正常环路电压下保持发送器正常运行，同时提供适当水平的电压浪涌保护。**XTR106** 指定为 **40V** 的绝对最大环路电压。

大多数浪涌保护齐纳二极管在正向方向具有二极管特性，会传导过多电流，如果环路连接反向，可能会损坏接收侧电路。如果使用浪涌保护二极管，请使用串联二极管或二极管电桥以防止反向连接。

6.4 器件功能模式

该器件有一种运行模式，适用于在 *建议运行条件* 下运行的情况。

7 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。

7.1 应用信息

图 7-1 显示了 XTR106 的基本连接图。环路电源 V_{PS} 为所有电路供电。输出环路电流以通过串联负载电阻器 R_L 的电压来测量。建议在 V_+ 和 I_O 之间连接一个 $0.01\ \mu F$ 至 $0.03\ \mu F$ 的电源旁路电容器。对于故障和/或过载状况可能使输入饱和的应用，建议使用 $0.03\ \mu F$ 的电容器。

可使用 $2.5V$ 或 $5V$ 基准来励磁电桥传感器。对于 $5V$ 励磁，将引脚 14 (V_{REF5}) 连接到电桥上；另请参阅图 7-1。对于 $2.5V$ 励磁，将引脚 13 ($V_{REF2.5}$) 连接到引脚 14；另请参阅图 6-3。电桥的输出终端连接到仪表放大器输入 V_{IN+} 和 V_{IN-} 。显示在输入之间连接了一个 $0.01\ \mu F$ 电容器，建议将其用于高阻抗电桥 ($> 10k\ \Omega$)。电阻器 R_G 根据满量程电桥电压 V_{FS} 的要求设置仪表放大器的增益。

LIN 极性和 R_{LIN} 为电桥提供二阶线性化校正，实现高达 20:1 的线性改进。连接到 Lin 极性 (引脚 12) 会决定非线性校正的极性；连接到 I_{RET} 或 V_{REG} 。即使不需要线性校正，也要将 Lin 极性连接到 V_{REG} 。 R_{LIN} 根据方程式 7 选择，取决于 K_{LIN} (线性化常量) 以及电桥相对于 V_{FS} 的非线性度 (请参阅节 6.3.1)。

$$R_{LIN} = |K_{LIN} \times \frac{4B}{1-2B}| \quad (7)$$

其中：

- K_{LIN} 以 Ω 为单位

$$R_G = \left(\frac{V_{FS}}{400\ \mu A} \right) \times \frac{1+2B}{1-2B} \quad (8)$$

其中：

- V_{FS} 以 V 为单位
- 针对 $2.5V$ 基准电压， $K_{LIN} = 9.905k\Omega$
- 针对 $5V$ 基准电压， $K_{LIN} = 6.645k\Omega$
- B 是电桥相对于 V_{FS} 的非线性度
- V_{FS} 是满量程输入电压

完整电流变送器的传递函数为：

$$I_O = 4mA + V_{IN} \times \left(\frac{40}{R_G} \right) \quad (9)$$

其中：

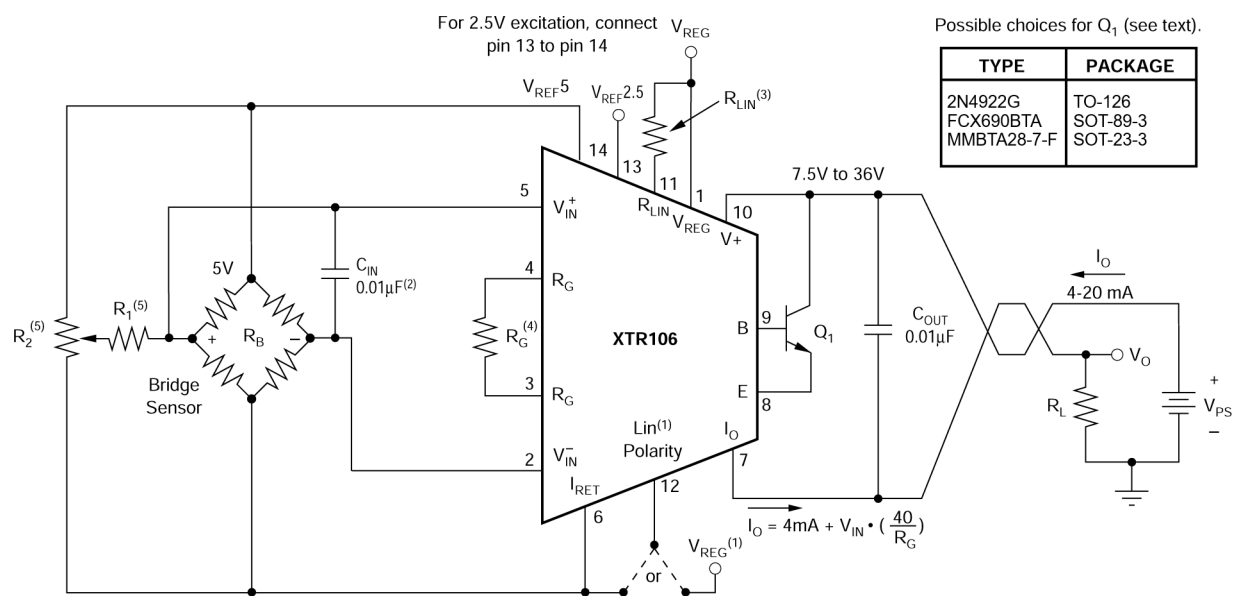
- V_{IN} 是差动输入电压，以伏特为单位
- R_G 以欧姆为单位

从传递函数可以明显看出，如果未使用 R_G ($R_G = \infty$)，则增益为零，输出仅为 XTR106 零电流。

负输入电压 V_{IN} 会导致输出电流小于 4mA。不断增加的负 V_{IN} 会导致输出电流限制在约 1.6mA。如果电流源自基准和/或 V_{REG} ，则电流限制值可能会增加。另请参阅图 5-9 和图 5-10。

越来越高的正输入电压（大于满量程输入， V_{FS} ）会根据传递函数产生越来越高的输出电流，直到约 28mA 的输出电流限制。另请参阅图 5-11。

I_{RET} 引脚是来自基准和 V_{REG} 的所有电流的返回路径。 I_{RET} 还用作本地接地，并作为 V_{REG} 和板载电压基准的基准点。 I_{RET} 引脚允许 XTR106 检测外部电路中使用的任何电流，并将其纳入输出电流而不会导致误差。XTR106 的输入电压范围以该引脚为基准。



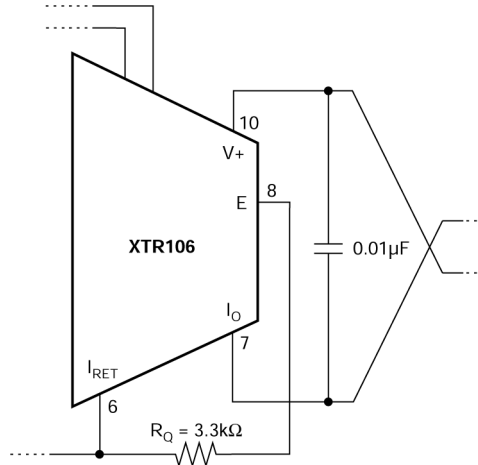
- (1) 将 Lin 极性（引脚 12）连接到 I_{RET} （引脚 6），以校正正极电桥非线性，或者连接到 V_{REG} （引脚 1）以纠正负极电桥非线性。如果不需要线性校正，则 R_{LIN} 引脚和 Lin 极性引脚必须连接到 V_{REG} 。请参阅线性化部分。
- (2) 建议电桥阻抗 $> 10\text{k}\Omega$ 。
- (3) R_1 和 R_2 形成电桥修整电路，以补偿电桥的初始精度。请参阅电桥平衡文本。

图 7-1. 线性化的基本电桥测量电路

7.1.1 外部晶体管

外部导通晶体管 Q_1 传导大部分信号相关的 4mA 至 20mA 回路电流。使用外部晶体管可以将大部分功率耗散与 XTR106 的精密输入和基准电路隔离，从而保持出色的精度。

外部晶体管位于反馈环路内部；因此，特性并不重要。要求包括： $V_{CEO} = 45V \text{ min}$ 、 $\beta = 40 \text{ min}$ 且 $P_D = 800mW$ 。如果环路电源电压低于 36V，则功率耗散要求可能会更低。图 7-1 中列出了 Q_1 的一些可能选项。XTR106 无需外部导通晶体管即可运行。然而，由于内部功率耗散和随后的自发热，精度会在一定程度上降低。在工作温度范围内，不建议在没有 Q_1 情况下运行。建议在 I_{RET} 引脚和 E (发射极) 引脚之间连接一个电阻器 ($R = 3.3k\Omega$)，以便在没有 Q_1 且工作温度低于 $0^\circ C$ 的情况下运行，从而保持完整的 20mA 满量程输出，尤其是当 $V+$ 接近 7.5V 时。



(1) 如需在没有外部晶体管的情况下运行，在引脚 6 和引脚 8 之间连接一个 3.3kΩ 电阻器。有关对性能的讨论，请查看文本。

图 7-2. 在没有外部晶体管的情况下运行

7.1.2 环路电源

施加到 XTR106 的电压 $V+$ 是相对于 I_O 连接引脚 7 测量而得。 $V+$ 范围可以是 7.5V 至 36V。回路电源电压 V_{PS} 与施加到 XTR106 的电压不同，具体取决于电流检测电阻 R_L 上的压降 (加上线路中的任何其他压降)。

如果使用低回路电源电压，则必须使 R_L (包括回路配线电阻) 具有相对较低的值，以便 $V+$ 保持在 7.5V 或更高，从而获得 20mA 的最大回路电流：

$$R_{L \text{ MAX}} = \left(\frac{(V+) - 7.5V}{20mA} \right) - R_{\text{WIRING}} \quad (10)$$

对于高达 30mA 的环路电流，设计为 $V+$ 等于或大于 7.5V，从而允许出现超出范围的输入情况。如果使用 5V 传感器励磁以及当校正大于 +3% 的电桥非线性度时， $V+$ 必须至少为 8V。

XTR106 的低工作电压 (7.5V) 允许直接使用个人计算机电源 ($12V \pm 5\%$) 运行。与 RCV420 电流回路接收器 (图 7-6) 配合使用时，负载电阻器压降限制在 3V。

7.1.3 电桥平衡

图 7-1 所示为电桥修整电路 (R_1 , R_2)。这种调整可用于补偿电桥的初始精度和/或修整 XTR106 的偏移电压。 R_1 和 R_2 的值取决于电桥的阻抗以及所需的修整范围。此修整电路会对 V_{REF} 输出施加额外的负载。确保 V_{REF} 上的额外负载不会影响零输出。参阅图 5-10。修整电路的有效负载几乎等于 R_2 。可以计算 R_1 的近似值：

$$R_1 \approx \frac{5V \times R_B}{4 \times V_{TRIM}} \quad (11)$$

其中：

- R_B 为电桥的电阻
- V_{TRIM} 是所需的 \pm 电压修整范围 (以 V 为单位)

使 R_2 的值等于或小于 R_1 。

7.1.4 欠量程电流

从 V_{REF} 和 V_{REG} 电压源汲取的总电流以及温度会影响 XTR106 欠量程电流值 (参阅图 5-10)。在选择电桥电阻和励磁电压时, 尤其对于在宽温度范围内工作的传感器, 要考虑这一点 (参阅图 5-9)。

7.1.5 低阻抗电桥

XTR106 有两个可用的励磁电压 (2.5V 和 5V), 允许使用各种电桥值。无需任何额外的电路即可使用低至 $1k\Omega$ 的电桥阻抗。通过增加一个串联电阻将励磁电流限制在 $\leq 2.5mA$ (图 7-5), 较低阻抗的电桥可以与 XTR106 配合使用。在电桥的上侧和下侧增加电阻, 使电桥输出保持在 1.1V 至 3.5V 共模输入范围内。由于电桥输出会减小, 因此可能需要前置放大器来降低偏移电压和漂移。

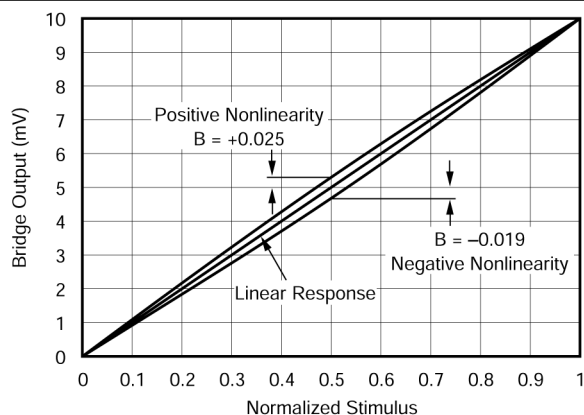


图 7-3. 具有抛物线非线性的桥式传感器传递函数

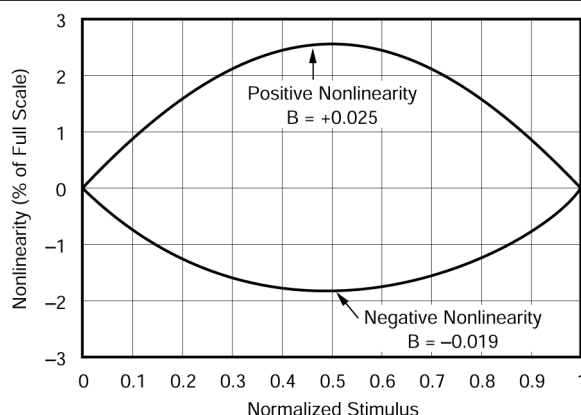
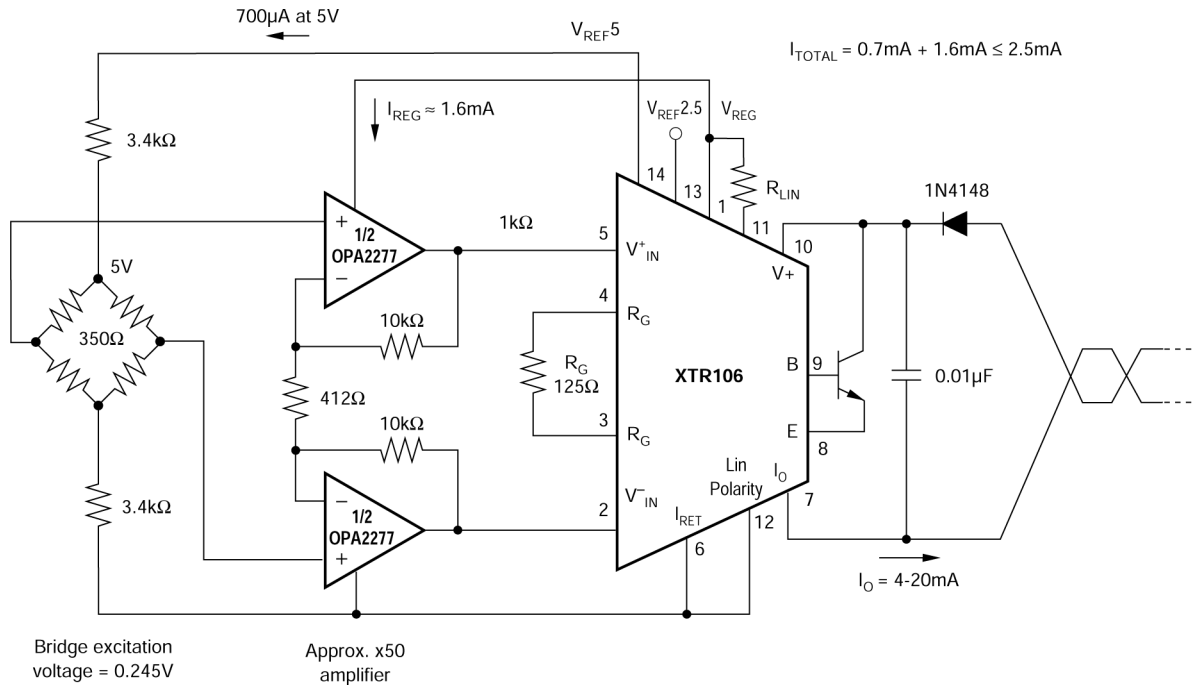


图 7-4. 非线性与激励



(1) 所示已连接至正确的正向电桥非线性。有关负向电桥非线性，请参阅 图 6-3。

图 7-5. 带 x50 前置放大器的 350 Ω 电桥

7.1.6 其他传感器类型

XTR106 可用于各种输入。高输入阻抗仪表放大器用途广泛，可针对从毫伏到最大 2.4V 满量程的差分输入电压进行配置。输入的线性范围为 1.1V 至 3.5V，参考 I_{RET} 。XTR106 的线性化特性可用于输出与励磁电压成比例的任何传感器。

7.1.7 射频干扰

电流环路的长导线长度会产生射频 (RF) 干扰。RF 干扰可由导致误差的 XTR106 的灵敏输入电路整流。这些误差通常表现为不稳定的输出电流，该电流随环路电源或输入接线的位置而变化。

如果桥式传感器位于远处，干扰可能会进入输入终端。对于与传感器连接较短的集成发送器组件，干扰更可能来自电流环路连接。

输入端的旁路电容器可减少或消除这种输入干扰。图 6-6 显示了如何将这些旁路电容器连接到 I_{RET} 引脚。虽然 I_{RET} 引脚上的直流电压不等于 0V (在环路电源 V_{PS} 处)，但该电路点可视为发送器接地。 $V+$ 与 I_O 之间连接的 0.01 μF 电容器有助于更大限度地降低输出干扰。

7.1.8 误差分析

表 7-1 显示了如何计算各种误差源对电路精度的影响。为典型电桥传感器测量电路 ($5k\Omega$ 电桥, $V_{REF} = 5V$, $V_{FS} = 50mV$) 提供了误差计算示例。结果显示 XTR106 具有出色的精度, 在示例中未经调整的精度为 1.2%。调整增益和偏移误差可将电路精度提高至 0.33%。这些是最坏情况下的误差; 在计算中使用了最大值, 并且所有误差均假定为正值 (累加型)。XTR106 实现了离散电路难以获得的性能, 并且所需的布板空间更小。

表 7-1. 误差计算

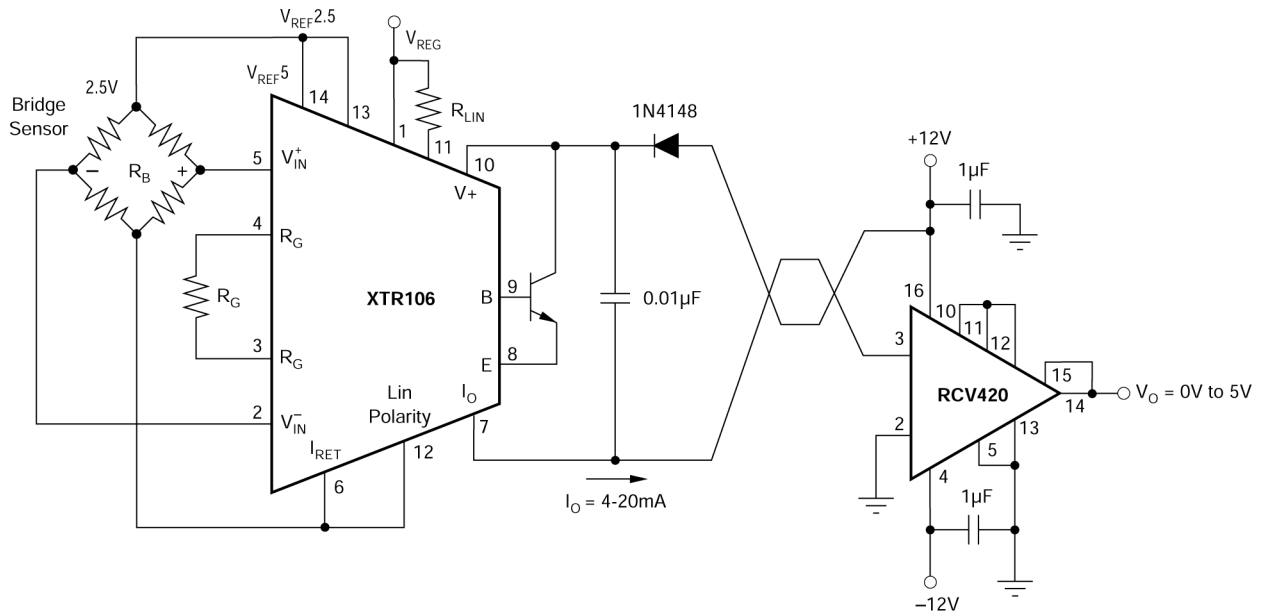
样本误差计算 ⁽¹⁾				
电桥阻抗 (R _B) 5k Ω		满量程输入 (V _{FS}) 50mV		
环境温度范围 (Δ T _A) 20°C		励磁电压 (V _{REF}) 5V		
电源电压变化 (Δ V+) 5V		共模电压变化 (Δ CM) 25mV (= V _{FS} /2)		
误差源	样本误差公式	误差计算	误差 (满量程的 ppm)	
			UNADJ	调整
输入				
输入失调电压	V _{OS} /V _{FS} · 10 ⁶	200 μ V/50mV · 10 ⁶	2000	0
与共模之间的关系	CMRR · Δ CM/V _{FS} · 10 ⁶	50 μ V/V · 0.025V/50mV · 10 ⁶	25	25
与电源的关系	(V _{OS} 与 V+ 之间的关系) · (Δ V+)/V _{FS} · 10 ⁶	3 μ V/V · 5V/50mV · 10 ⁶	300	300
输入偏置电流	CMRR · I _B · (R _B /2)/V _{FS} · 10 ⁶	50 μ V/V · 25nA · 2.5k Ω /50mV · 10 ⁶	0.1	0
输入失调电流	I _{OS} · R _B /V _{FS} · 10 ⁶	3nA · 5k Ω /50mV · 10 ⁶	300	0
总输入误差			2625	325
激励				
电压基准精度	V _{REF} 精度 (%) /100% · 10 ⁶	0.25%/100% · 10 ⁶	2500	0
对电源电压的敏感度	(V _{REF} 与 V+ 之间的关系) · (Δ V+) · (V _{FS} /V _{REF})	20ppm/V · 5V (50mV/5V)	1	1
总励磁误差			2501	1
增益				
跨度	量程误差 (%) /100% · 10 ⁶	0.2%/100% · 10 ⁶	2000	0
非线性度	非线性 (%) /100% · 10 ⁶	0.01%/100% · 10 ⁶	100	100
总增益误差			2100	100
输出				
零输出	I _{ZERO} - 4mA /16000 μ A · 10 ⁶	25 μ A /16000 μ A · 10 ⁶	1563	0
对电源电压的敏感度	(I _{ZERO} vs V+) · (Δ V+) /16000 μ A · 10 ⁶	0.2 μ A/V · 5V/16000 μ A · 10 ₆	62.5	62.5
总输出误差			1626	63
漂移 (Δ T _A = 20°C)				
输入失调电压	漂移 · Δ T _A / (V _{FS}) · 10 ⁶	1.5 μ V/°C · 20°C / (50mV) · 10 ⁶	600	600
输入偏移电流 (典型值)	漂移 · Δ T _A · R _B / (V _{FS}) · 10 ⁶	5pA/°C · 20°C · 5k Ω / (50mV) · 10 ⁶	10	10
电压基准精度		35ppm/°C · 20°C	700	700
跨度		225ppm/°C · 20°C	500	500
零输出	漂移 · Δ T _A /16000 μ A · 10 ⁶	0.9 μ A/°C · 20°C /16000 μ A · 10 ⁶	1125	1125
总漂移误差			2936	2936
噪声 (0.1Hz 至 10Hz, 典型值)				
输入失调电压	V _n (p-p)/V _{FS} · 10 ⁶	0.6 μ V/50mV · 10 ⁶	12	12
零输出	I _{ZERO} 噪声 /16000 μ A · 10 ⁶	0.035 μ A /16000 μ A · 10 ⁶	2.2	2.2
热 R _B 噪声	[√ 2 · √ (R _B /2) /1k Ω · 4nV/√ Hz · √ 10Hz] /V _{FS} · 10 ⁶	[√ 2 · √ 2.5k Ω /1k Ω · 4nV/√ Hz · √ 10Hz]] /50mV · 10 ⁶	0.6	0.6
输入电流噪声	(i _n · 40.8 · √ 2 · R _B /2) /V _{FS} · 10 ⁶	(200fA/√ Hz · 40.8 · √ 2 · 2.5k Ω) /50mV · 10 ⁶	0.6	0.6
总噪声误差			15	15

表 7-1. 误差计算 (续)

样本误差计算 ⁽¹⁾				
电桥阻抗 (R _B) 5k Ω		满量程输入 (V _{FS}) 50mV		
环境温度范围 (Δ T _A) 20°C		励磁电压 (V _{REF}) 5V		
电源电压变化 (Δ V+) 5V		共模电压变化 (Δ CM) 25mV (= V _{FS} /2)		
误差源	样本误差公式	误差计算	误差 (满量程的 ppm)	
			UNADJ	调整
总误差：			11803	3340
			1.18%	0.33%

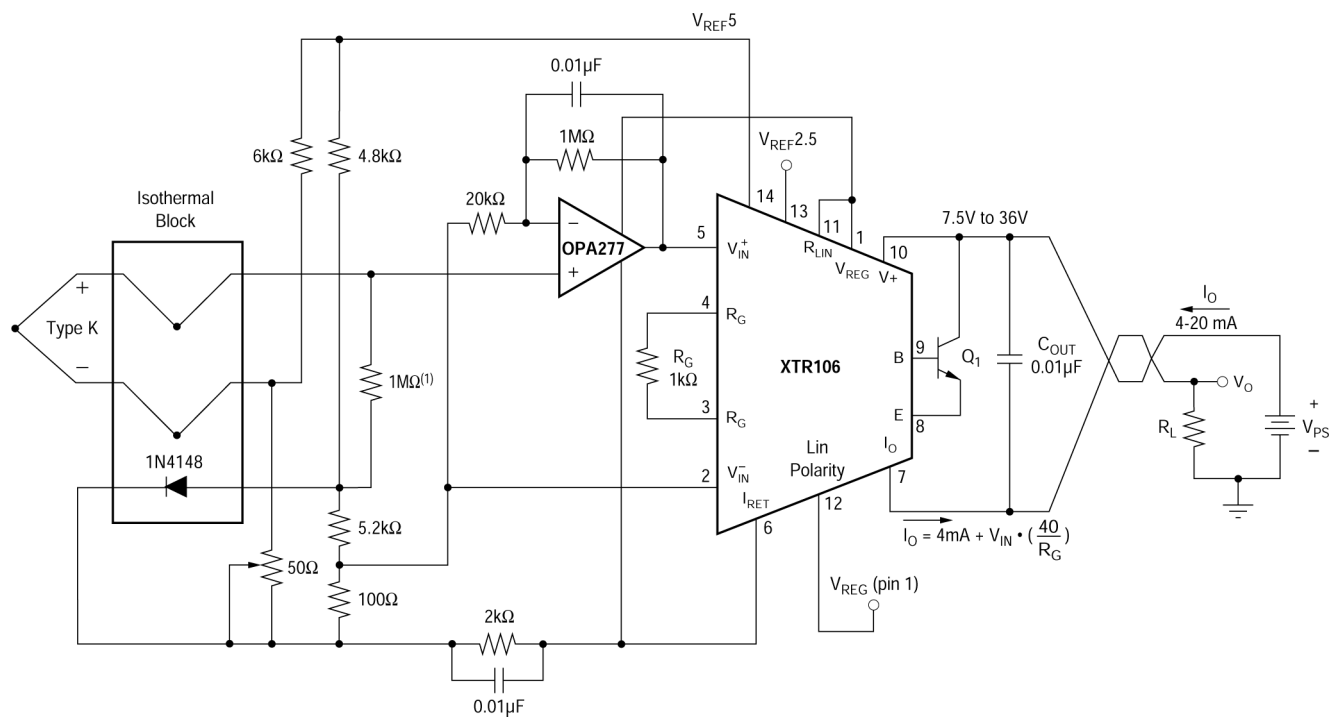
(1) 除非另有说明, 否则所有误差均为最小值和最大值, 并以输入为基准。

7.2 典型应用



- (1) 所示的 Lin 极性已连接至正确的正向电桥非线性。要校正负向电桥非线性, 请参阅图 6-3。
- (2) 如果需要隔离, 请参阅 ISO124 数据表。

图 7-6. 由 $\pm 12V$ 供电的发送器和接收器环路



(1) 用于过载指示。

(2) 如果需要隔离，请参阅 ISO124 数据表。

图 7-7. 具有二极管冷端补偿的热电偶低失调电压、低温漂环路测量

7.3 布局

7.4 布局指南

XTR106 通常与外部晶体管 (Q_1) 配合使用以调节 4mA 到 20mA 环路的功率耗散。这样可以让产生的局部自发热与 XTR106 的精密电路保持距离，并减少过热漂移误差。

如果应用要求不会导致违反器件的*绝对最大值要求*（例如最高结温），则可以在没有 Q_1 晶体管的情况下使用 XTR106。计算峰值功率耗散并乘以热阻，得出相关结温上升的近似值。最大限度地减少过热情况，以实现可靠的长期运行。

将电源旁路电容器放置在靠近封装的位置，并与低阻抗导体连接。减少 R_G 的布线长度，从而更大幅度地减少耦合环境噪声。如果环路电源存在电噪声，则使用去耦电容器和小电阻器或与 $V+$ 串联的阻尼电感器实施滤波。

8 器件和文档支持

TI 提供广泛的开发工具。下面列出了用于评估器件性能、生成代码和开发解决方案的工具和软件。

8.1 器件命名规则

表 8-1. 器件命名规则

器件型号	定义
XTR106U/2K5 XTR106UA/2K5	芯片采用 CSO 制造：SHE 或 CSO：TID。
XTR106P XTR106PA XTR106UA	芯片采用 CSO 制造：SHE。

8.2 文档支持

8.3 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI)，关于电流环路变送器的 [特殊功能放大器 精密实验室视频系列](#)
- 德州仪器 (TI)，[电阻式温度检测器的模拟线性化](#) 技术文章
- 德州仪器 (TI)，[RTD 测量基本指南](#) 应用手册

8.4 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。

8.5 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](#)。

8.6 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。

8.7 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。

8.8 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

Changes from Revision B (January 2025) to Revision C (January 2026)	Page
• 将特性中的“CMR”更改为了“CMRR”	1
• 将特性中的“PSR”更改为了“PSRR”	1
• 在规格中添加了器件流程信息的说明	4
• 在电气特性中为零输出电流噪声添加了不同的制造过程规范	5
• 在电气特性中为偏移电压添加了不同的制造过程规范	5
• 在电气特性中为共模阻抗添加了不同的制造过程规范	5
• 在电气特性中为 VREG 与温度间的关系添加了不同的制造过程规范	5
• 向典型特性中的典型测试条件添加了所有芯片原产地 (CSO) 条件	7
• 更新了欠量程电流与温度间的关系、欠量程电流与 IREF + IREG 间的关系、过量程电流与温度间的关系、零输出电流误差与温度间的关系、输入偏置和偏移电流与温度间的关系、VREG 输出电压与 VREG 输出电流间的关系、VREF5 与 VREG 输出电流间的关系，以及参考电压偏差与温度间的关系曲线，以与典型特性中的绝对最大温度范围保持一致	7
• 添加了“CSO : SHE”到典型特性中的阶跃响应和共模抑制与频率间的关系曲线	7
• 添加了“CSO : TID”到典型特性中的输入电压噪声密度与频率间的关系及零输出电流噪声密度与频率间的关系曲线	7
• 为以下内容添加了阶跃响应和共模抑制与频率间的关系曲线：CSO: 以及输出电压摆幅与输出电流 (灌电流) 间的关系	7
• 为以下内容添加了输入电压、输入电流和零输出电流噪声密度与频率间的关系曲线：CSO: SHE，该曲线位于典型特征中	7
• 向器件命名规则添加了器件型号流程信息表	26

Changes from Revision A (November 2003) to Revision B (January 2025)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式	1
• 添加了引脚配置和功能、建议运行条件、热性能信息、电气特性、详细说明、功能方框图、应用和实施、典型应用、器件和文档支持，以及机械、封装和可订购信息 部分	1
• 应用中修改的终端设备	1
• 添加了引脚功能表	3
• 删除了输入电压、输入电流和零输出电流噪声密度与频率间的关系图，并替换为图 5-13 输入电压噪声密度与频率间的关系和图 5-14 零输出电流噪声密度与频率间的关系	7
• 更新了图 5-20 参考电压偏差与温度间的关系	7
• 将过压浪涌保护中最大回路电源电压的说明更改为指定的绝对最大额定值	16
• 更新了图 7-1 线性化基本电桥测量电路中建议的晶体管器件型号	17

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。

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