

Analog Engineer's Circuit

单电源应变仪桥式放大器电路



Amplifiers

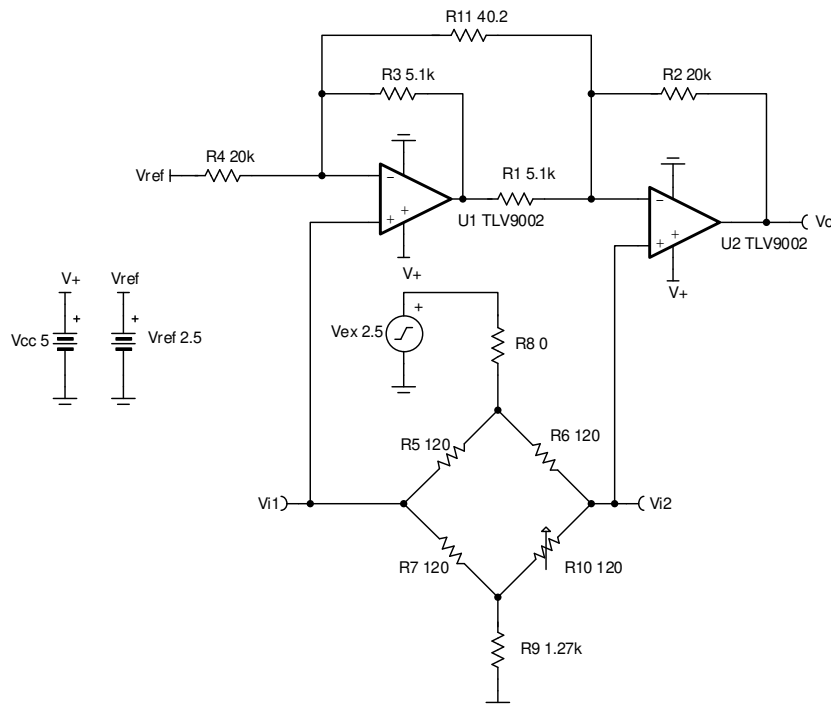
设计目标

输入 $V_{IDiff}(V_{I2} - V_{I1})$		输出		电源		
V_{IDiff_Min}	V_{IDiff_Max}	V_{oMin}	V_{oMax}	V_{CC}	V_{EE}	V_{ref}
-2.22mV	2.27mV	225 mV	4.72 V	5V	0V	2.5V

应变计的电阻变化 (R_{10})	V_{cm}	增益
115Ω - 125Ω	2.39 V	1001 V/V

设计说明

应变计是一种传感器，其电阻随作用力而变化。电阻变化与传感器因作用力而产生的应变成正比。为了测量电阻的变化，电桥配置中放置了应变计。此设计使用两级运算放大器仪表电路放大因应变计的电阻变化而产生的差分信号。通过改变 R_{10} ，会在惠斯通电桥的输出端产生小的差动电压，该电压将馈送到两级运算放大器仪表放大器输入端。仪表放大器能否以线性模式运行取决于主要构建块（即运算放大器）能否以线性模式运行。当输入和输出信号分别处于器件的输入共模和输出摆幅范围内时，运算放大器以线性模式运行。用于为运算放大器供电的电源电压定义这些范围。



设计说明

1. 惠斯通电桥的电阻 R_5 、 R_6 和 R_7 必须与应变计的标称电阻匹配，并且必须相等，以避免产生电桥失调电压。
2. 必须使用低容差电阻，以最大限度地减小因电桥电阻而产生的失调电压和增益误差。
3. V_{ex} 用来设置电桥激励电压和共模电压 V_{cm} 。
4. V_{ref} 将仪表放大器的输出电压偏置为 $1/2 V_s$ ，以允许在正方向和负方向进行差动测量。
5. R_{11} 用来设置仪表放大器电路的增益。
6. R_8 和 R_9 用来设置仪表放大器的共模电压并限制流经电桥的电流。此电流决定电桥产生的差分信号。但是，由于电桥电阻和应变计的自热效应，对于流经电桥的电流会有一些限制。
7. 确保 $R_1 = R_3$ 、 $R_2 = R_4$ 且 R_2/R_1 和 R_4/R_3 的比率一致，以将 V_{ref} 增益设置为 $1V/V$ 并使仪表放大器保持高直流 CMRR。
8. 能否以线性模式运行取决于所使用的运算放大器的输入共模和输出摆幅范围。线性输出摆幅范围在运算放大器数据表中 A_{OL} 测试条件下指定。
9. 使用高阻值电阻可能会减小电路的相位裕度并在电路中引入额外的噪声。

设计步骤

1. 选择 R_5 、 R_6 和 R_7 以匹配应变计的标称电阻

$$R_{gauge} = R_5 = R_6 = R_7 = 120 \Omega$$

2. 选择 R_9 以将仪表放大器的共模电压设置为 2.39 V

$$V_{cm} = \frac{\frac{R_{bridge}}{2} + R_9}{R_{bridge} + R_9} \times V_{ex}$$

$$V_{cm} = \frac{\frac{120 \Omega}{2} + R_9}{120 \Omega + R_9} \times 2.5 V = 2.39 V$$

$$\frac{\frac{120 \Omega}{2} + R_9}{120 \Omega + R_9} = \frac{2.39 V}{2.5 V} = 0.96$$

$$0.04 R_9 = 49.7 \rightarrow R_9 = \frac{49.7}{0.04} = 1.24 k\Omega = 1.27 k\Omega \text{ (Standard value)}$$

3. 计算生成所需输出电压摆幅所需的增益

$$G = \frac{V_{oMax} - V_{oMin}}{V_{iDiff_Min} - V_{iDiff_Min}} = \frac{4.72 V - 0.225 V}{0.00222 V - (-0.00227 V)} = 1001 \frac{V}{V}$$

4. 选择 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 。要将 V_{ref} 增益设置为 $1V/V$ 并避免降低仪表放大器的 CMRR， R_1 必须等于 R_3 且 R_2 必须等于 R_4 。

$$\text{选择 } R_1 = R_3 = 5.1 k\Omega \text{ 和 } R_2 = R_4 = 20 k\Omega \text{ (标准值)}$$

5. 计算 R_{11} 以实现所需的增益

$$G = 1 + \frac{R_4}{R_3} + \frac{2 \times R_2}{R_{11}} = 1001 \frac{V}{V}$$

$$G = 1 + \frac{20 k\Omega}{5.1 k\Omega} + \frac{2 \times R_2}{R_{11}} = 1001 \frac{V}{V} \rightarrow 4.92 + \frac{40 k\Omega}{R_{11}} = 1001 \frac{V}{V} \rightarrow \frac{40 k\Omega}{R_{11}} = 996.1 \rightarrow R_{11} = \frac{40 k\Omega}{996.1} = 40.15 \Omega \rightarrow R_{11} = 40.2 \Omega \text{ (标准值)}$$

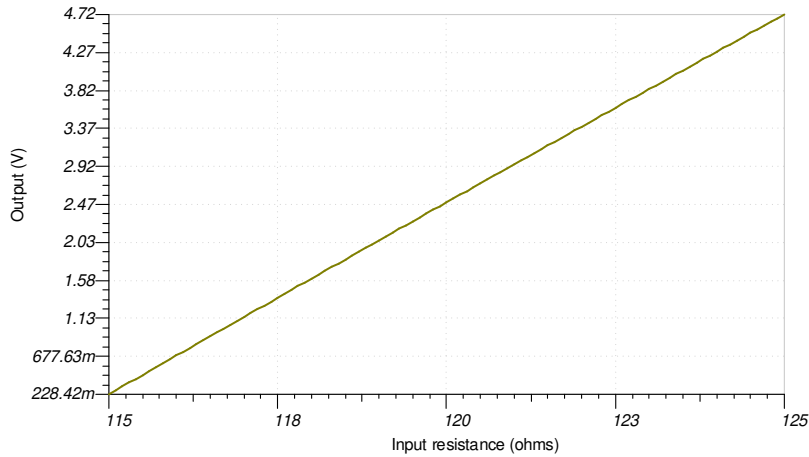
6. 计算流经电桥的电流

$$I_{bridge} = \frac{V_{ex}}{R_8 + R_9 + R_{bridge}} = \frac{2.5 V}{0 \Omega + 1.27 k\Omega + 120 \Omega}$$

$$I_{bridge} = \frac{2.5 V}{1.27 k\Omega + 120 \Omega} \rightarrow I_{bridge} = 1.80 \text{ mA}$$

设计仿真

直流仿真结果



参考文献

1. 《模拟工程师电路设计指导手册》
2. SPICE 仿真文件 [SBOMAU4](#)
3. TI 高精度设计 [TIPD170](#)
4. [TI 高精度实验室](#)
5. [双运放仪表放大器的 \$V_{CM}\$ 与 \$V_{OUT}\$ 关系图](#)

设计特色运算放大器

TLV9002	
V_{SS}	1.8V 至 5.5V
V_{inCM}	轨到轨
V_{out}	轨至轨
V_{os}	0.4 mV
I_q	0.06 mA
I_b	5pA
UGBW	1MHz
SR	2V/ μ s
通道数	1、2 和 4
TLV9002	

设计备选运算放大器

OPA376	
V_{SS}	2.2V 至 5.5V
V_{inCM}	($V_{EE}0.1V$) 至 ($V_{CC} 1.3V$)
V_{out}	轨至轨
V_{os}	0.005 mV
I_q	0.76 mA
I_b	0.2pA
UGBW	5.5MHz
SR	2V/ μ s
通道数	1、2 和 4
OPA376	

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司