

## Analog Engineer's Circuit

## 具有 MSP430™ 智能模拟组合的单电源应变仪桥式放大器电路



Matthew Calvo

## 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	0.1V	3.2V	3.3V	0V	1.65V

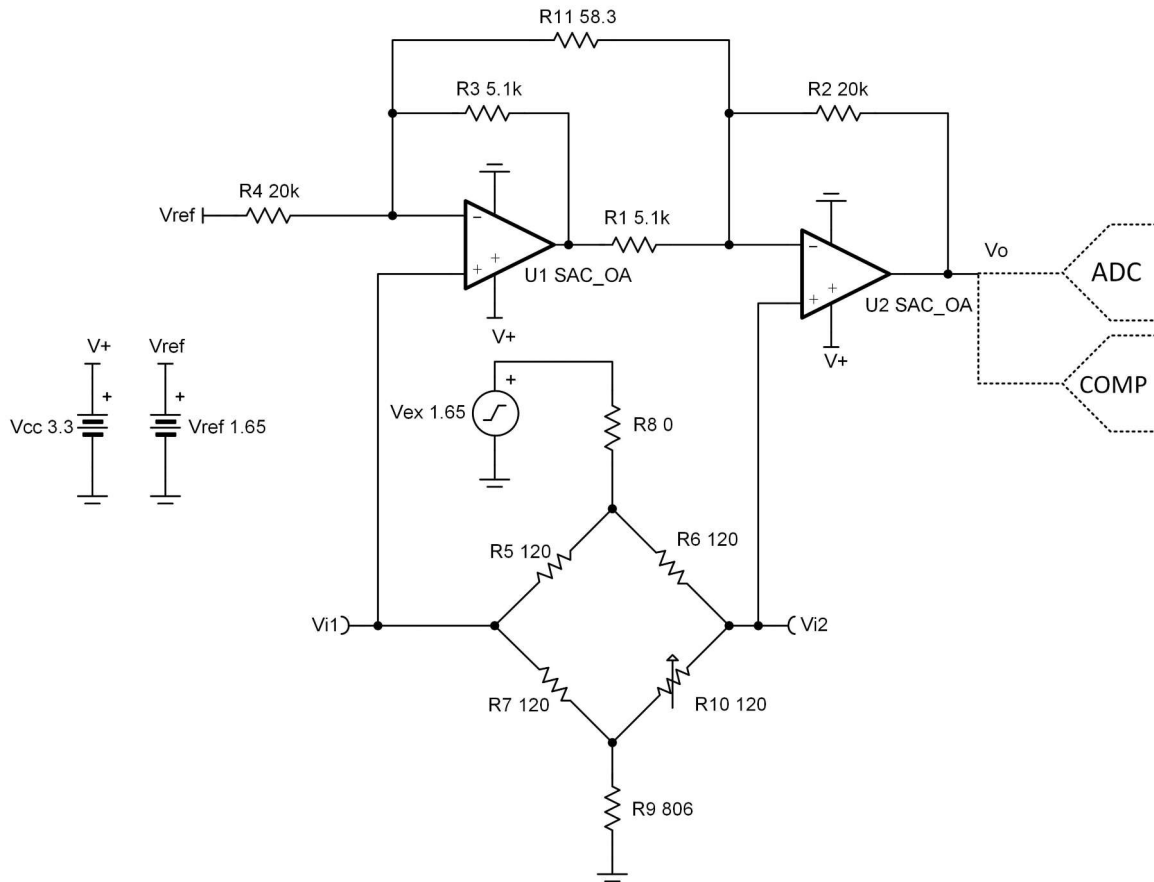
  

应变计的电阻变化 ( $R_{10}$ )	$V_{cm}$	增益
115Ω 至 125Ω	1.34V	690V/V

## 设计说明

某些 MSP430™ 微控制器 (MCU) 包含可配置的集成信号链元件，例如运算放大器、DAC 和可编程增益级。这些组件组成了一个称为智能模拟组合 (SAC) 的外设。有关 SAC 的不同类型以及如何利用其可配置模拟信号链功能的信息，请访问 [MSP430 MCU 智能模拟组合培训](#)。要开始设计，请下载 [应变计桥式放大器电路设计文件](#)。

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。此压力感应电路使用置于桥配置中的应变计来测量电阻变化。该设计利用了 MSP430FR2355 中的所有四个内置运算放大器模块 (SAC)。两个 SAC\_L3 外配置为通用模式，以放大由应变计的电阻变化产生的差分信号，而另外两个配置为 DAC 模式，以提供基准电压 ( $V_{ref}$ ) 和激励电压 ( $V_{ex}$ )。通过改变  $R_{10}$ ，会在惠斯通电桥的输出端产生小的差分电压，该电压将馈送到 2 个 SAC 运算放大器所构成的仪表放大器输入端。仪表放大器的线性度基于 MSP430 SAC 运算放大器的输入共模和输出摆幅范围，这可以在本文末尾的规格表中找到。二级运算放大器的输出可以直接通过板载 ADC 采样或通过板载比较器进行监测，以在 MCU 内部进行进一步处理。



## 设计说明

- 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。
- 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。
- $V_{ex}$  用来设置电桥激励电压和共模电压  $V_{cm}$ 。
- $V_{ref}$  将基于 MSP430 SAC 仪表放大器的输出电压偏置为中位电压，以允许在正方向和负方向进行差分测量。
- $R_{11}$  用来设置仪表放大器电路的增益。
- $R_8$  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。
- 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  $1/V$  并使仪表放大器保持高直流 CMRR。
- 使用高值电阻器可能会减小电路的相位裕度并在电路中引入额外的噪声。
- 如果使用 MSP430FR2311 来实现修复，则仪表放大器将需要包含一个 SAC\_L1 运算放大器和一个跨阻放大器 (TIA) 运算放大器。激励和基准电压  $V_{ex}$  和  $V_{ref}$  需要从外部提供（例如分压器）。
- [应变计桥式放大器电路设计文件](#) 包含如何正确初始化 SAC 外设的代码示例。

## 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

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

2. 选择  $R_9$  以将仪表放大器的共模电压设置为 1.34V。

$$V_{cm} = \frac{\frac{R_{bridge}}{2} + R_9}{R_{bridge} + R_8 + R_9} \times V_{ex}$$

其中

$$R_{bridge} = \text{total resistance of the bridge}$$

为允许最大电流通过电桥，请选择

$$R_8 = 0\Omega$$

$$V_{cm} = \frac{\frac{120\Omega \times 4}{2} + R_9}{(120\Omega \times 4) + 0\Omega + R_9} \times 1.65V = 1.34V$$

$$\frac{240 + R_9}{480 + 0\Omega + R_9} = \frac{1.34V}{1.65V} = 0.812$$

$$0.188R_9 = 149.82 \rightarrow R_9 = \frac{149.82}{0.188} = 797.42\Omega \rightarrow R_9 = 806\Omega \text{ (Standard value)}$$

3. 计算生成所需输出电压摆幅所需的增益

$$G = \frac{V_{oMax} - V_{oMin}}{V_{iDiff\_Min} - V_{iDiff\_Min}} = \frac{3.2V - 0.1V}{0.00222V - (-0.00227V)} = 690.42 \frac{V}{V}$$

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  $R_4$ 。选择

$$R_1 = R_3 = 5.1k\Omega$$

且

$$R_3 = R_4 = 20k\Omega \text{ (Standard value)}$$

5. 计算  $R_{11}$  以实现所需的增益

$$G = 1 + \frac{R_4}{R_3} + \frac{2 \times R_2}{R_{11}} = 690.42 \frac{V}{V}$$

$$G = 1 + \frac{20k\Omega}{5.1k\Omega} + \frac{2 \times R_2}{R_{11}} = 690.42 \frac{V}{V} \rightarrow 4.92 + \frac{40k\Omega}{R_{11}} = 690.42 \frac{V}{V} \rightarrow \frac{40k\Omega}{R_{11}} = 685.5 \rightarrow R_{11} = \frac{40k\Omega}{685.5} = 58.35\Omega \rightarrow R_{11} = 58.3\Omega \text{ (Standard Value)}$$

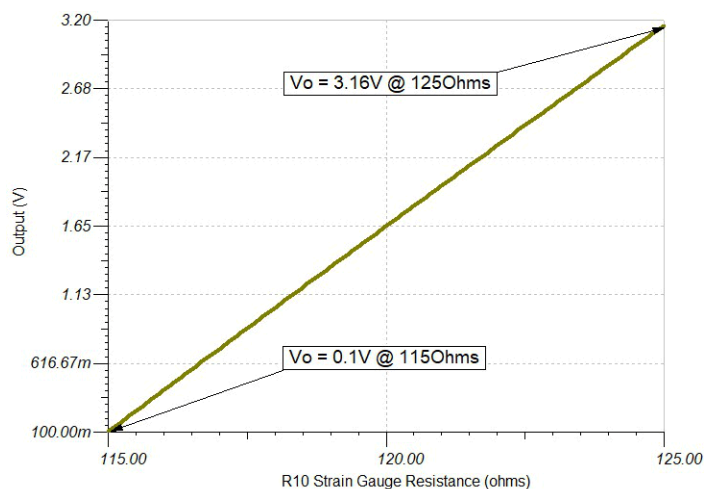
6. 计算流经电桥的电流

$$I_{bridge} = \frac{V_{ex}}{R_8 + R_9 + R_{bridge}} = \frac{1.65V}{0\Omega + 806\Omega + 120\Omega \times 4}$$

$$I_{bridge} = \frac{1.65V}{806\Omega + 480\Omega} \rightarrow I_{bridge} = 1.28mA$$

## 设计仿真

### 直流仿真结果



### 目标应用

- [压力变送器](#)
- [称重计](#)

### 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [MSP430 应变仪桥式放大器电路](#), 代码示例和 SPICE 仿真文件
2. 德州仪器 (TI), [具有 3.75KB FRAM、运算放大器、TIA、比较器、DAC、10 位 ADC 的 16MHz 集成模拟微控制器](#), 产品页面
3. 德州仪器 (TI), [MSP430 MCU 智能模拟组合培训](#), 培训视频



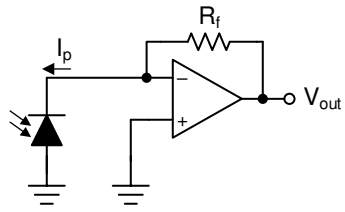
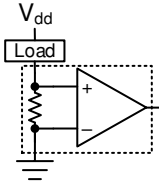
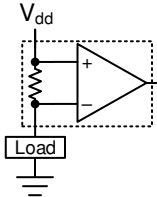
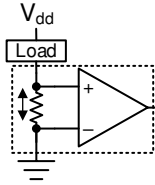

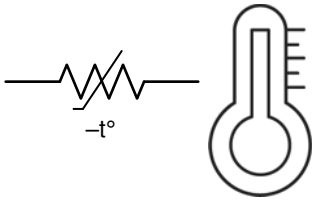
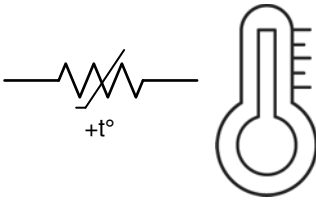
### 设计特色运算放大器

MSP430FRxx 智能模拟组合		
	MSP430FR2311 SAC_L1	MSP430FR2355 SAC_L3
<b>V<sub>CC</sub></b>	2.0V 至 3.6V	
<b>V<sub>CM</sub></b>	-0.1V 至 V <sub>CC</sub> + 0.1V	
<b>V<sub>out</sub></b>	轨到轨	
<b>V<sub>os</sub></b>	±5mV	
<b>A<sub>OL</sub></b>	100dB	
<b>I<sub>q</sub></b>	350μA (高速模式)	
	120μA (低功耗模式)	
<b>I<sub>b</sub></b>	50pA	
<b>UGBW</b>	4MHz (高速模式)	2.8MHz (高速模式)
	1.4MHz (低功耗模式)	1MHz (低功耗模式)
<b>SR</b>	3V/μs (高速模式)	
	1V/μs (低功耗模式)	
<b>通道数量</b>	1	4
	<a href="#">MSP430FR2311</a>	<a href="#">MSP430FR2355</a>

## 设计备选运算放大器

MSP430FR2311 跨阻放大器	
$V_{CC}$	2.0V 至 3.6V
$V_{CM}$	-0.1V 至 $V_{CC}/2V$
$V_{out}$	轨到轨
$V_{os}$	$\pm 5mV$
$A_{OL}$	100dB
$I_q$	350 $\mu A$ (高速模式)
	120 $\mu A$ (低功耗模式)
$I_b$	5pA (TSSOP-16, 带 OA 专用引脚输入)
	50pA (TSSOP-20 和 VQFN-16)
UGBW	5MHz (高速模式)
	1.8MHz (低功耗模式)
SR	4V/ $\mu s$ (高速模式)
	1V/ $\mu s$ (低功耗模式)
通道数量	1
MSP430FR2311	

## MSP430 相关电路

低噪声、远距离 PIR 传感器调节器电路 	桥式放大器电路 	跨阻放大器电路 
单电源、低侧、单向电流检测电路 	带有分立式差分放大器的高侧电流检测电路 	低侧双向电流检测电路 
半波整流器电路 	通过 NTC 热敏电阻电路检测温度 	通过 PTC 热敏电阻电路检测温度 

## 商标

MSP430™ is a trademark of Texas Instruments.  
 所有商标均为其各自所有者的财产。

## 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

---

<b>Changes from Revision A (March 2020) to Revision B (October 2024)</b>	<b>Page</b>
• 通篇更新了表格、图和交叉参考的格式.....	1

---

<b>Changes from Revision * (December 2019) to Revision A (March 2020)</b>	<b>Page</b>
• 添加了 <i>MSP430</i> 相关电路 部分.....	1

---

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司