



Matthew Calvo

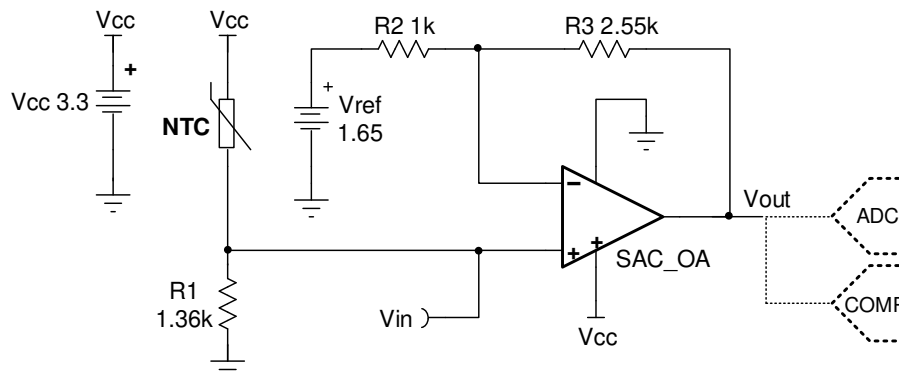
设计目标

温度		输出电压		电源		
T_{Min}	T_{Max}	V_{outMin}	V_{outMax}	V_{cc}	V_{ee}	V_{ref}
25°C	50°C	0.2V	3.1V	3.3V	0V	1.65V

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 [MSP430 温度检测 NTC 电路代码示例和 SPICE 仿真文件](#)。

此温度检测电路将电阻与负温度系数 (NTC) 热敏电阻串联合成分压电路，从而产生与温度变化呈线性关系的输出电压。此电路将同相放大器配置中的 MSP430FR2311 SAC_L1 运算放大器与反相参考配合使用来对信号进行偏置和放大，从而帮助充分利用 ADC 分辨率并提高测量精度。(注意：MSP430FR2355 具有四个 SAC_L3 外设，每个外设均包含一个内置 DAC 和 PGA，为生成 V_{ref} 和测量热敏电阻电路提供了单芯片解决方案。) 集成式 SAC 运算放大器的输出可以直接通过片内 ADC 采样或通过片内比较器进行监测，以在 MCU 内部进行进一步处理。



设计说明

- 连接电压 V_{in} 是负温度系数热敏电阻的输出电压。要测量 PTC 热敏电阻的输出电压，请调换 R_1 和该热敏电阻的位置。
- V_{ref} 可以使用 MSP430FR2355 中集成的 SAC_L3 DAC 之一或电阻分压器生成。如果使用电阻分压器，则电阻分压器的等效电阻将影响电路的增益。
- 使用高电阻值电阻器会减小放大器的相位裕度并在电路中引入额外的噪声。建议使用电阻值约为 $10k\Omega$ 或更低的电阻。
- 如果使用 MSP430FR2311 来实现该解决方案，则将 SAC_L1 运算放大器配置为通用模式以测量热敏电阻电路。
- 如果使用 MSP430FR2355 来实现该解决方案，则需要将其中一个 SAC_L3 外设配置为 DAC 模式，用于生成基准电压，然后将另一个配置为通用模式，用于测量热敏电阻电路的输出电压。

设计步骤

$$V_{out} = V_{cc} \times \frac{R_1}{R_{NTC} + R_1} \times \frac{R_2 + R_3}{R_2} - \frac{R_3}{R_2} \times V_{ref}$$

1. 计算 R_1 的值以生成线性输出电压。根据 NTC 热敏电阻的最小值和最大值来获取 R_1 的一系列值。

$$R_{NTC_max} = R_{NTC} @ 25^\circ\text{C} = 2.252 \text{ k}\Omega, \quad R_{NTC_min} = R_{NTC} @ 50^\circ\text{C} = 819.7 \Omega$$

$$R_1 = \sqrt{R_{NTC} @ 25^\circ\text{C} \times R_{NTC} @ 50^\circ\text{C}} = \sqrt{2.252 \text{ k}\Omega \times 819.7 \Omega} = 1.359 \text{ k}\Omega \approx 1.36 \text{ k}\Omega$$

2. 计算输入电压范围。

$$V_{inMin} = V_{cc} \times \frac{R_1}{R_{NTC_max} + R_1} = 3.3 \text{ V} \times \frac{1.36 \text{ k}\Omega}{2.252 \text{ k}\Omega + 1.36 \text{ k}\Omega} = 1.2418 \text{ V}$$

$$V_{inMax} = V_{cc} \times \frac{R_1}{R_{NTC_min} + R_1} = 3.3 \text{ V} \times \frac{1.36 \text{ k}\Omega}{819.7 \Omega + 1.36 \text{ k}\Omega} = 2.0582 \text{ V}$$

3. 计算所需增益以生成最大输出摆幅。

$$G_{ideal} = \frac{V_{outMax} - V_{outMin}}{V_{inMax} - V_{inMin}} = \frac{3.1 \text{ V} - 0.2 \text{ V}}{2.0582 \text{ V} - 1.2418 \text{ V}} = 3.5519 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

4. 选择 R_2 并计算 R_3 以设置 3 中的增益。

$$\text{Gain} = \frac{R_2 + R_3}{R_2}$$

$$R_2 = 1 \text{ k}\Omega \quad (\text{Standard value})$$

$$R_3 = R_2 \times (G_{ideal} - 1) = 1 \text{ k}\Omega \times \left(3.5519 \frac{\text{V}}{\text{V}} - 1\right) = 2.5519 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Choose } R_3 = 2.55 \text{ k}\Omega$$

5. 根据 R_2 和 R_3 的标准值计算实际增益。

$$G_{actual} = \frac{R_2 + R_3}{R_2} = \frac{1 \text{ k}\Omega + 2.55 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} = 3.55 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

6. 根据实际增益计算输出电压摆幅。

$$V_{out_swing} = (V_{inMax} - V_{inMin}) \times G_{actual} = (2.0582 \text{ V} - 1.2418 \text{ V}) \times 3.55 \frac{\text{V}}{\text{V}} = 2.9 \text{ V}$$

7. 计算输出电压绕中位电压对称时的最大输出电压。

$$V_{outMax} = V_{mid - supply} + \frac{V_{out_swing}}{2} = \frac{V_{cc} - V_{ee}}{2} + \frac{V_{out_swing}}{2} = \frac{3.3 \text{ V} - 0 \text{ V}}{2} + \frac{2.9 \text{ V}}{2} = 3.1 \text{ V}$$

8. 计算出参考电压。

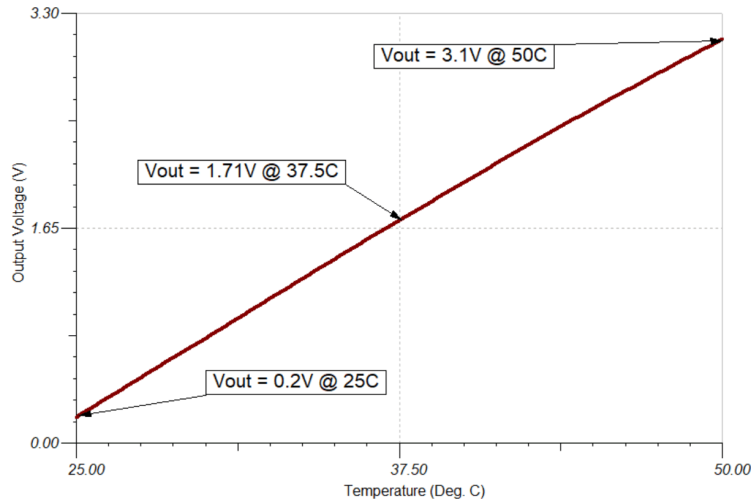
$$V_{outMax} = V_{inMax} \times G_{actual} - \frac{R_3}{R_2} \times V_{ref}$$

$$3.1 \text{ V} = 2.0582 \text{ V} \times 3.55 \frac{\text{V}}{\text{V}} - \frac{2.55 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} \times V_{ref}$$

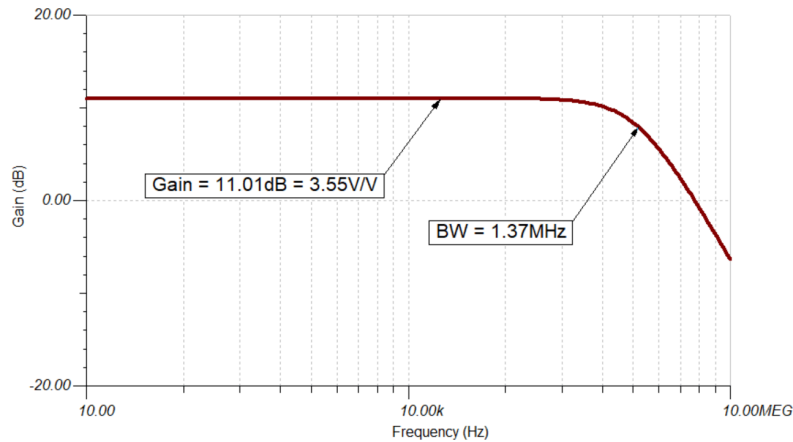
$$V_{ref} = \frac{2.0582 \text{ V} \times 3.55 \frac{\text{V}}{\text{V}} - 3.1 \text{ V}}{\frac{2.55 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega}} = 1.65 \text{ V}$$

设计仿真

直流转换结果



交流仿真结果



目标应用

- 现场温度变送器
- 恒温器
- 温度计
- 热敏电阻探针
- 系统温度监控器

参考资料

德州仪器 (TI), [MSP430 MCU 智能模拟组合培训](#), 视频

德州仪器 (TI), [MSP430FR2311 TINA-TI Spice 模型](#), 软件支持



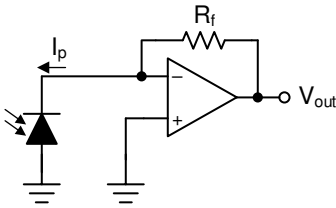
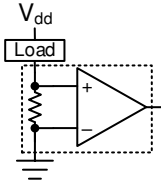
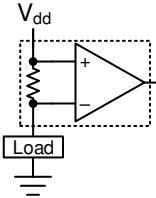
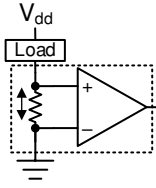

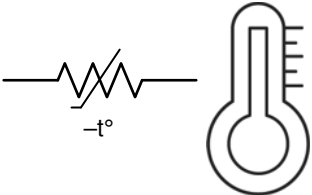
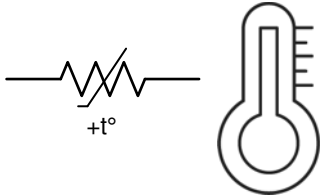
德州仪器 (TI), [MSP430 温度检测 NTC 电路代码示例和 SPICE 仿真文件](#), SLAC793 设计资源

设计特色运算放大器

MSP430FRxx 智能模拟组合		
	MSP430FR2311 SAC_L1	MSP430FR2355 SAC_L3
V_{CC}	2.0V 至 3.6V	
V_{CM}	-0.1V 至 $V_{CC} + 0.1V$	
V_{out}	轨到轨	
V_{os}	±5mV	
A_{OL}	100dB	
I_q	350µA (高速模式)	
	120µA (低功耗模式)	
I_b	50pA	
UGBW	4MHz (高速模式)	2.8MHz (高速模式)
	1.4MHz (低功耗模式)	1MHz (低功耗模式)
SR	3V/µs (高速模式)	
	1V/µs (低功耗模式)	
通道数量	1	4
	MSP430FR2311	MSP430FR2355

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}	±5mV
A_{OL}	100dB
I_q	350µA (高速模式)
	120µA (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/µs (高速模式)
	1V/µs (低功耗模式)
通道数量	1
	MSP430FR2311

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

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

Changes from Revision C (March 2020) to Revision D (September 2024)	Page
• 通篇更新了表格、图和交叉参考的格式.....	1
Changes from Revision B (October 2019) to Revision C (March 2020)	Page
• 添加了 <i>MSP430</i> 相关电路部分.....	1
Changes from Revision A (September 2019) to Revision B (October 2019)	Page
• 更新了 <i>设计说明</i> 中的第一段.....	1
Changes from Revision * (August 2019) to Revision A (September 2019)	Page
• 更新了“参考资料”中的示例文件链接.....	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