

## 带有 MSP430™ 智能模拟组合的温度检测 PTC 电路

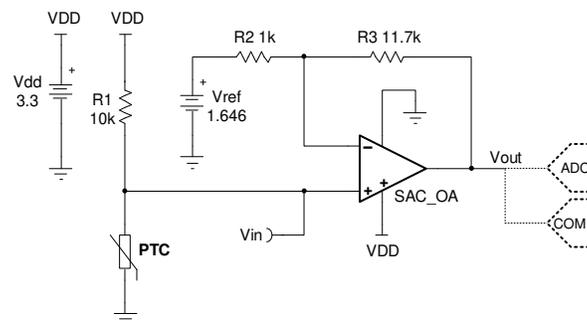
### 设计目标

温度		输出电压		电源		
$T_{Min}$	$T_{Max}$	$V_{outMin}$	$V_{outMax}$	$V_{dd}$	$V_{ee}$	$V_{ref}$
0°C	50°C	0.15V	3.15V	3.3V	0V	1.646V

### 设计说明

某些 MSP430™ 微控制器 (MCU) 包含可配置的信号链集成元件，例如运算放大器、DAC 和可编程增益放大器 (PGA)。这些元件组成了一个称为智能模拟组合 (SAC) 的外设。有关 SAC 的类型以及如何配置，请访问 [MSP430 MCU 智能模拟组合培训](#)。要开始设计，请下载 [温度检测 PTC 电路设计文件](#)。

此温度检测电路将电阻与正温度系数 (PTC) 热敏电阻串联构成分压电路，从而产生与温度变化呈线性关系的输出电压。MSP430FR2311 中的 SAC\_L1 配置成同向放大器，同时利用反向参考电压提供偏置，从而提高测量精度。（注：MSP430FR2355 具有四个 SAC\_L3 外设，每个外设均包含一个内置的 DAC 和 PGA，可直接生成 Vref，为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

- $V_{in}$  是正温度系数 (PTC) 热敏电阻的输出电压。要测量负温度系数 (NTC) 热敏电阻的输出电压，请调换  $R_1$  和 PTC 电阻的位置。
- Vref 可以由 MSP430FR2355 集成在 SAC\_L3 中的 DAC 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会影响电路的增益。
- 使用高阻值电阻可能会减小放大器的相位裕度并在电路中引入额外的噪声。建议使用电阻值为 10kΩ 左右或更低的电阻。
- 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 OPA 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 OPA 模式，用于测量热敏电阻电路的输出电压。

## 设计步骤

$$V_{out} = V_{dd} \times \frac{R_{PTC}}{R_{PTC} + R_1} \times \frac{R_2 + R_3}{R_2} - \frac{R_3}{R_2} \times V_{ref} \quad (1)$$

1. 计算  $R_1$  的值以生成线性输出电压。使用 PTC 热敏电阻的最小值和最大值来计算  $R_1$ 。

$$\begin{aligned} R_{PTC\_Max} &= R_{PTC} @ 50^\circ\text{C} = 11.611 \text{ k}\Omega \\ R_{PTC\_Min} &= R_{PTC} @ 0^\circ\text{C} = 8.525 \text{ k}\Omega \\ R_1 &= \sqrt{R_{PTC} @ 0^\circ\text{C} \times R_{PTC} @ 50^\circ\text{C}} = \sqrt{8.525 \text{ k}\Omega \times 11.611 \text{ k}\Omega} = 9.95 \text{ k}\Omega \approx 10 \text{ k}\Omega \end{aligned} \quad (2)$$

2. 计算输入电压范围。

$$\begin{aligned} V_{inMin} &= V_{dd} \times \frac{R_{PTC\_Min}}{R_{PTC\_Min} + R_1} = 3.3 \text{ V} \times \frac{8.525 \text{ k}\Omega}{8.525 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} = 1.519 \text{ V} \\ V_{inMax} &= V_{dd} \times \frac{R_{PTC\_Max}}{R_{PTC\_Max} + R_1} = 3.3 \text{ V} \times \frac{11.611 \text{ k}\Omega}{11.611 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} = 1.773 \text{ V} \end{aligned} \quad (3)$$

3. 计算所需增益以生成最大输出摆幅。

$$G_{ideal} = \frac{V_{outMax} - V_{outMin}}{V_{inMax} - V_{inMin}} = \frac{3.15 \text{ V} - 0.15 \text{ V}}{1.773 \text{ V} - 1.519 \text{ V}} = 11.811 \frac{\text{V}}{\text{V}} \quad (4)$$

4. 选择  $R_2$  的阻值并计算  $R_3$  以产生步骤 3 中计算的增益。

$$\begin{aligned} \text{Gain} &= \frac{R_2 + R_3}{R_2} \\ R_2 &= 1 \text{ k}\Omega \\ R_3 &= R_2 \times (G_{ideal} - 1) = 1 \text{ k}\Omega \times (11.811 - 1) = 10.811 \text{ k}\Omega \\ \text{Choose } R_3 &= 10.7 \text{ k}\Omega \text{ (Standard value)} \end{aligned} \quad (5)$$

5. 根据  $R_2$  和  $R_3$  的标准值计算实际增益。

$$G_{actual} = \frac{R_2 + R_3}{R_2} = \frac{1 \text{ k}\Omega + 10.7 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} = 11.7 \frac{\text{V}}{\text{V}} \quad (6)$$

6. 根据实际增益计算输出电压摆幅。

$$V_{out\_swing} = (V_{inMax} - V_{inMin}) \times G_{actual} = (1.773 \text{ V} - 1.519 \text{ V}) \times 11.7 \frac{\text{V}}{\text{V}} = 2.9718 \text{ V} \quad (7)$$

7. 计算输出电压绕中位电压对称时的最大输出电压。

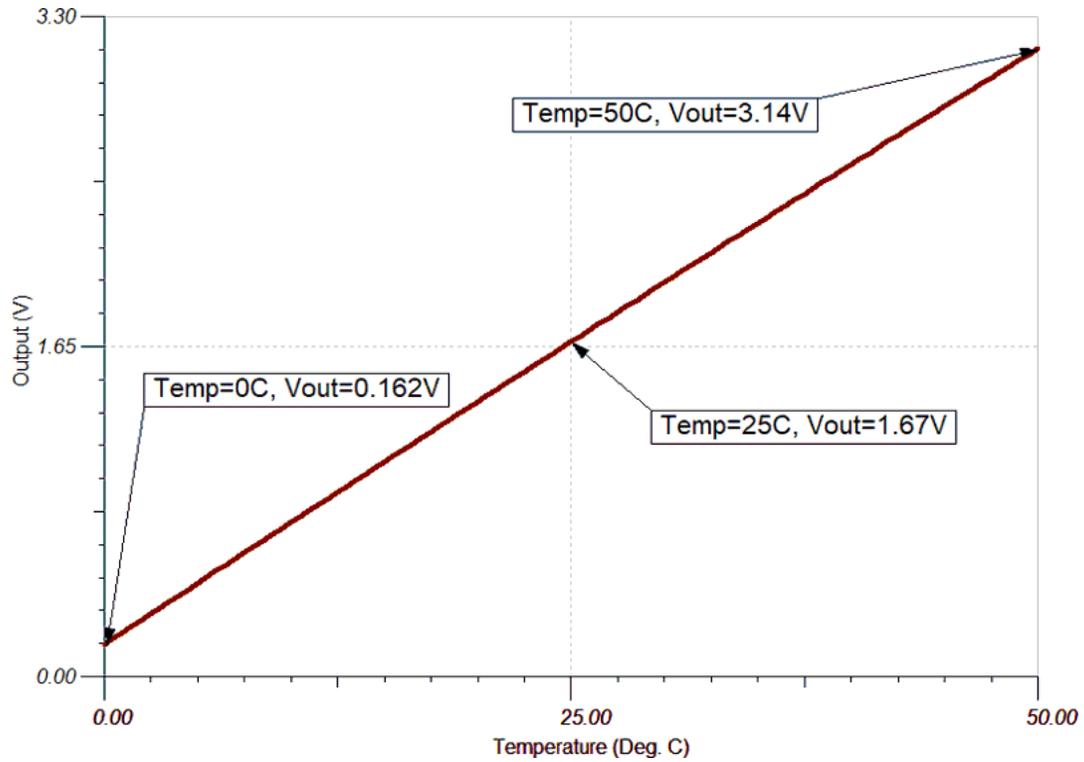
$$V_{outMax} = V_{mid-supply} + \frac{V_{out\_swing}}{2} = \frac{V_{dd} - V_{ee}}{2} + \frac{V_{out\_swing}}{2} = \frac{3.3 \text{ V} - 0 \text{ V}}{2} + \frac{2.9718 \text{ V}}{2} = 3.136 \text{ V} \quad (8)$$

8. 计算出参考电压。

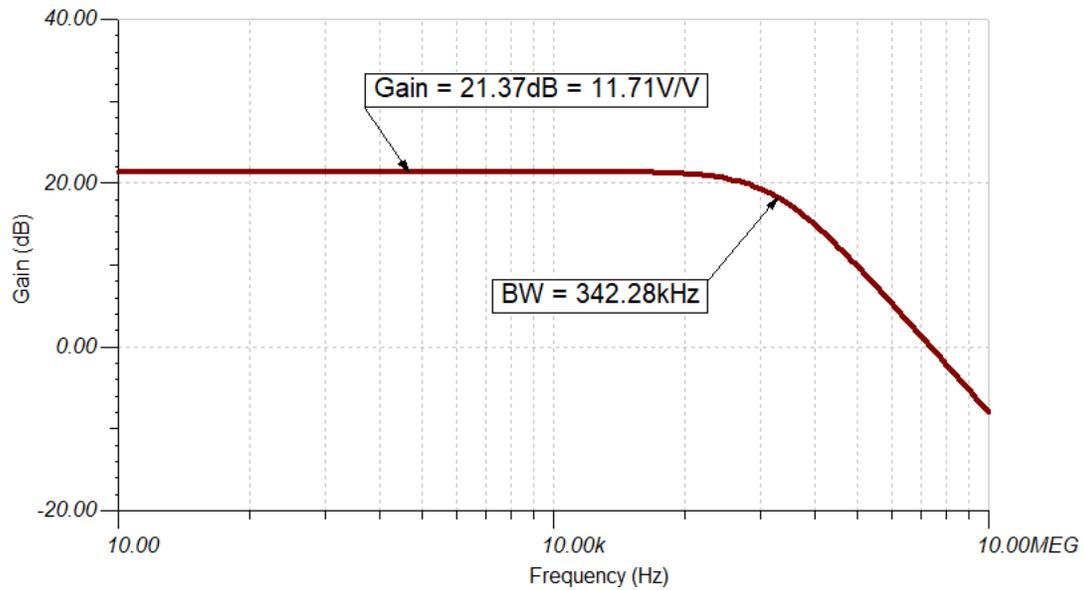
$$\begin{aligned} V_{outMax} &= V_{inMax} \times G_{actual} - \frac{R_3}{R_2} \times V_{ref} \\ 3.136 \text{ V} &= 1.773 \text{ V} \times 11.7 \frac{\text{V}}{\text{V}} - \frac{10.7 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} \times V_{ref} \\ V_{ref} &= \frac{1.773 \text{ V} \times 11.7 \frac{\text{V}}{\text{V}} - 3.136 \text{ V}}{\frac{10.7 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega}} = 1.646 \text{ V} \end{aligned} \quad (9)$$

设计仿真

直流仿真结果



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](#)

## 参考文献

1. [MSP430 MCU 智能模拟组合培训](#)
2. [《模拟工程师电路设计指导手册》](#)
3. [MSP430FR2311 TINA-TI Spice 模型](#)
4. [MSP430 温度检测 PTC 电路代码示例和 SPICE 仿真文件](#)

## 首选运算放大器

MSP430FRxx 智能模拟组合 (SAC)		
	MSP430FR2311 SAC_L1	MSP430FR2355 SAC_L3
$V_{CC}$	2.0V 至 3.6V	
$V_{CM}$	-0.1V 至 $V_{CC} + 0.1V$	
$V_{out}$	轨至轨	
$V_{os}$	$\pm 5mV$	
$A_{OL}$	100dB	
$I_q$	350 $\mu A$ (高速模式)	
	120 $\mu A$ (低功耗模式)	
$I_b$	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/ $\mu s$ (高速模式)	
	1V/ $\mu s$ (低功耗模式)	
通道数量	1	4
	<a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/MSP430FR2311">http://www.ti.com.cn/product/cn/MSP430FR2311</a>	
	<a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/MSP430FR2355">http://www.ti.com.cn/product/cn/MSP430FR2355</a>	

## 设计备选运算放大器

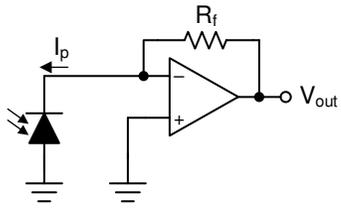
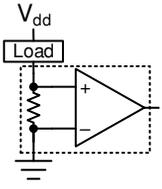
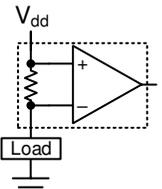
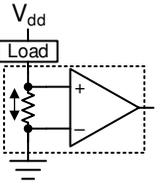
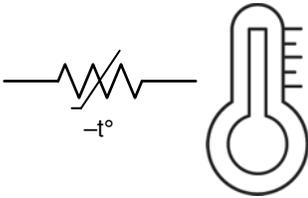
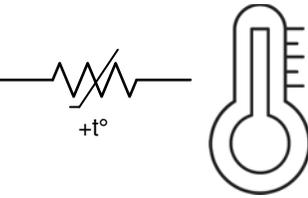
MSP430FR2311 跨阻放大器 (TIA)	
$V_{CC}$	2.0V 至 3.6V
$V_{CM}$	-0.1V 至 $V_{CC}/2V$
$V_{out}$	轨至轨
$V_{os}$	$\pm 5mV$
$A_{OL}$	100dB
$I_q$	350 $\mu A$ (高速模式)
	120 $\mu A$ (低功耗模式)
$I_b$	5pA (TSSOP-16, 带 OA 专用引脚输入)
	50pA (TSSOP-20 和 VQFN-16)
UGBW	5MHz (高速模式)
	1.8MHz (低功耗模式)
SR	4V/ $\mu s$ (高速模式)
	1V/ $\mu s$ (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

MSP430FR2311 跨阻放大器 (TIA)	
通道数量	1
<a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/MSP430FR2311">http://www.ti.com.cn/product/cn/MSP430FR2311</a>	

首选热敏电阻

TMP61	
$V_{CC}$	高达 5.5V
$R_{25}$	10k $\Omega$
$R_{TOL}$	1%
$I_{SNS}$	400 $\mu$ A
工作温度范围	-40°C 至 125°C
<a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/TMP61">http://www.ti.com.cn/product/cn/TMP61</a>	

MSP430 相关电路

<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、单向电流感应电路</p> 	<p>带有分立式差分放大器的高侧电流感应电路</p> 	<p>低侧双向电流感应电路</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> 

---

## 修订历史记录

注：之前版本的页码可能与当前版本有所不同。

<b>Changes from October 19, 2019 to March 6, 2020</b>	<b>Page</b>
• 添加了 <i>MSP430</i> 相关电路部分.....	<b>6</b>

---

## 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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司