

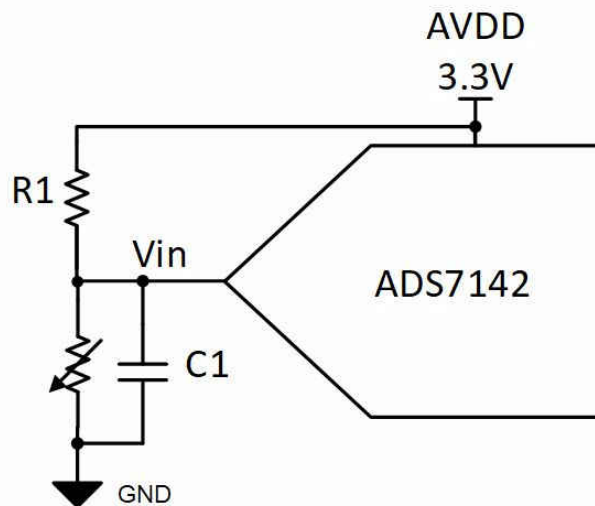
输入	ADC 输入	数字输出 ADS7042
VinMin	210mV	0x105
VinMax	3.09V	0xEFB

电源
AVDD
3.3V

### 设计说明

本文档介绍了如何设计一种使用热敏电阻与连续逼近型寄存器 (SAR) 模数转换器 (ADC) 直接监测温度的电路。此温度检测电路使用负温度系数 (NTC) 热敏电阻与电阻串联构成分压器，来监测  $-25^{\circ}\text{C}$  至  $100^{\circ}\text{C}$  的温度范围。此分压器的作用是产生与监测温度成反比的输出电压。电阻分压器的源极电压是模数转换器 ADS7142 的模拟电源 (AVDD)，也是此器件的基准电压。通过将电阻分压器连接到基准输入 AVDD，测量将按比例式进行，这样将确保基准电压变化不会影响总体精度。与输入电阻并联的电容器用于支持 ADC 输入稳定性能。

热敏电阻用于监测 [电器](#)、[无线环境传感器](#) 以及 [烟雾和热量探测器](#) 等应用中的温度。在这些应用中，热敏电阻电压变化缓慢，因此无需在高采样率下进行采样。这意味着无需驱动输入放大器来调节输入电压。相似的电路设计在 [不使用前端缓冲器电路的情况下直接驱动 SAR](#) 说明了如何测量从外部元件引入的漂移，这可以证明在这些应用中是有帮助的。



## 规格

规格	计算值	仿真值
采样率	< 10kHz	10kHz, 稳定至 1/2 LSB
温度范围	- 25°C 至 100°C	- 25°C 至 100°C
ADC 输入范围	210mV 至 3.09V	212mV 至 3.09V

## 设计注释

- 创建电阻分压器拓扑与 NTC 热敏电阻作为电阻分压器的第二个元件。使用此配置将导致 ADC 输入电压随温度上升而下降。输入电压随温度下降而升高或者随温度上升而降低。
- 根据监测的温度范围设计电阻分压器中的 R1。将热敏电阻容差作为选择 R1 的容差的指南。通常，1% 容差的电阻就足以匹配热敏电阻容差配，但如果存在严格的要求，就需要性能更加优异的电阻。以下“元件选型”章节中提供了用于计算 R1 值的公式。
- 采用与 NTC 并联的电容器 C1 有助于在 ADC 采样率的采集阶段内支持 ADC 输入稳定。电容器会影响系统的启动时间，因为电容器越大，需要的充电时间越长。

## 元件选型

- 选择最适合所需应用要求的热敏电阻。在选择热敏电阻时，需考虑  $\beta$  值 (B)，这是器件数据表中的常用参数。B 值在给定温度范围内指定，表示热敏电阻在指定的温度范围内的阻值变化。本例中选定的 NTC 在 25°C 时为 100k $\Omega$ ，B(25/85) 值为 3977。
- 需要计算 NTC 将经历的预期极值电阻来选择 R1。R1 的值使创建的电压与温度间的关系更加线性化。根据温度确定 NTC 电阻的公式如下；计算要求温度为开尔文。

$$R_{\text{NTC}} = R_{@298.15\text{K}} \cdot e^{B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{298.15\text{K}} \right)}$$

其中

- $R_{\text{NTC}}$  是温度 T 下的热敏电阻的阻值 ( $\Omega$ )
- $R_{@298.15\text{K}}$  是数据表中给出的在 25°C 下测量的热敏电阻的阻值 ( $\Omega$ )
- B 是数据表中的热敏电阻 B 值，单位为开尔文 (K)
- T 指热敏电阻在 (0°C + 273.15 = K) 下的温度，单位为开尔文 (K)

温度范围 (单位为开尔文)：

- $T_{\text{min}} = -25^\circ\text{C} + 273.15 = 248.15\text{K}$
- $T_{\text{max}} = 100^\circ\text{C} + 273.15 = 373.15\text{K}$

热敏电阻的阻值：

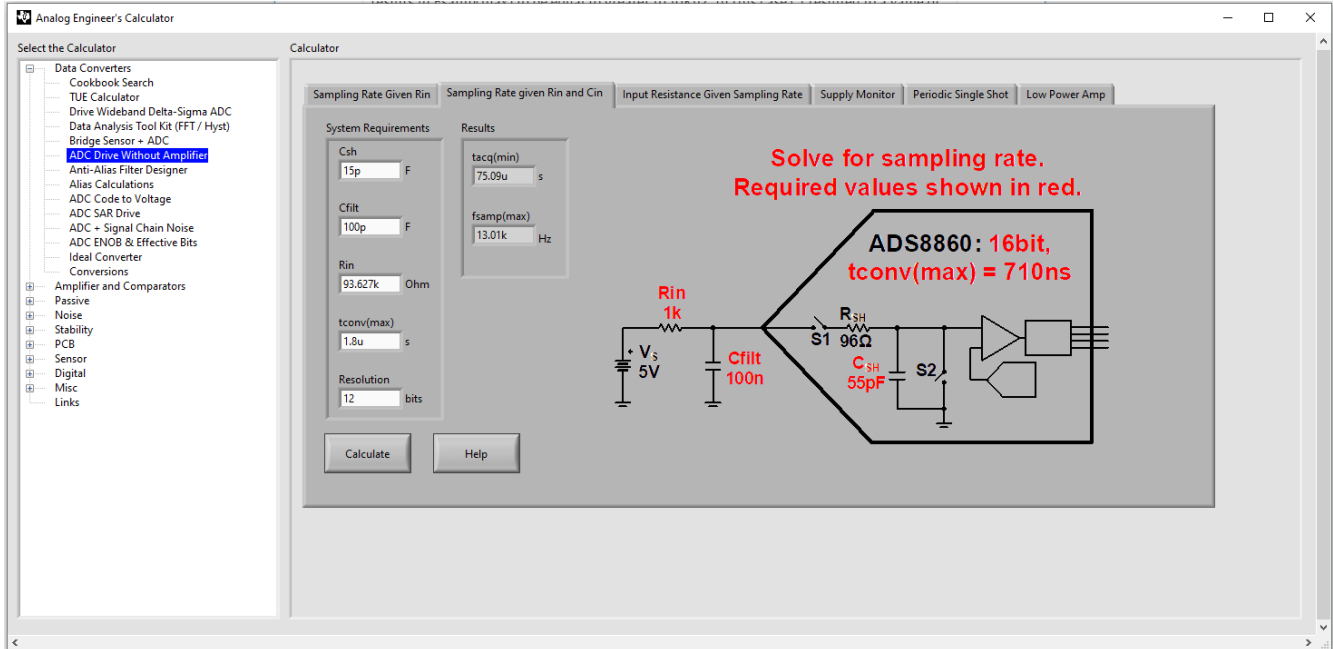
- $R_{\text{min}} = R_{@373.15\text{K}} = 100\text{k}\Omega \cdot e^{3977(1/373.15\text{K} - 1/248.15\text{K})} = 6.849\text{k}\Omega$
- $R_{\text{max}} = R_{@248.15\text{K}} = 100\text{k}\Omega \cdot e^{3977(1/248.15\text{K} - 1/248.15\text{K})} = 1,469.744\text{k}\Omega$

- 使用预期最小和最大 NTC 电阻计算 R1 的值。最接近的电阻值为 100k $\Omega$ 。

$$R_1 = \sqrt{(R_{@373.15\text{K}} \cdot R_{@248.15\text{K}})} = \sqrt{(6.849\text{k}\Omega \cdot 1,469.744\text{k}\Omega)} = 100.333\text{k}\Omega$$

- 选择电容器值。由于电容器的功能是支持 ADC 输入稳定性能，因此将根据 ADC 的采样率来确定电容器值。在本例中，目标采样率为 10kHz，最大转换时间为 1.8  $\mu\text{s}$ 。

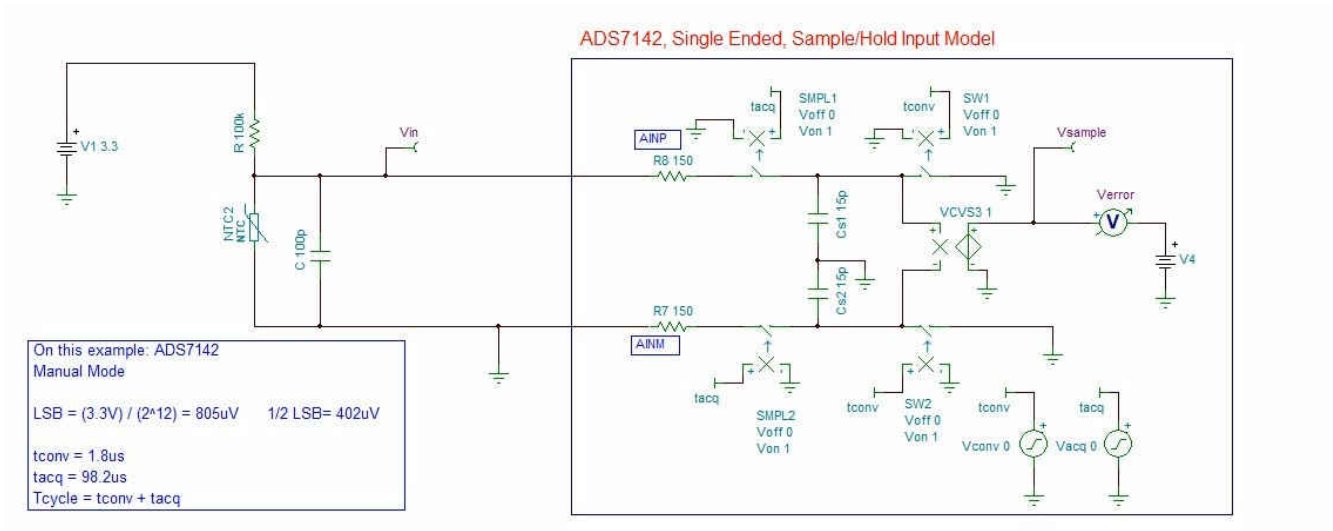
使用**模拟工程师计算器**有助于根据系统的工作情况和 ADC 数据表中的值来设计此值。在计算器工具中，选择 **Data Converters (数据转换器) > ADC Drive Without Amplifier (无放大器的 ADC 驱动)**，然后选择 **Sampling Rate Given Rin (采样率给定)** 和 **Cin** 选项卡。使用此工具根据计算的可实现采样率  $F_{smp(max)}$  来求解  $C_1$ 。在此窗口中，输入 ADC 采样保持电容  $15pF$ ，即电阻分压器在最坏稳定情况下的并联等效值，即 NTC 最大阻值为  $93.627k\Omega$ 、最大转换时间为  $1.8\mu s$  和 ADC 分辨率为 12 时。输入的初始  $C_{filt}$  值应为  $20 \times$  ADC 采样保持电容，在本例中为  $15pF \cdot 20 = 300pF$ 。输入此值会导致最大采样率小于所需的  $10kHz$ 。鉴于此，将  $C_{filt}$  减小到使  $F_{smp(max)}$  等于或大于  $10kHz$  的值。在本例中， $C_1$  的值为  $100pF$ 。



5. 运行瞬态仿真以验证整个温度范围内的 NTC 性能，且采样时间内的输入稳定在半个 LSB 内。

### 设计模拟模型

以下是 ADS7142 一阶模型的原理图。采用 **TI 精密实验室 - ADS**：中解说的步骤创建。构建 **SAR ADC 模型**。ADC 采样率设置为  $10kHz$ 。



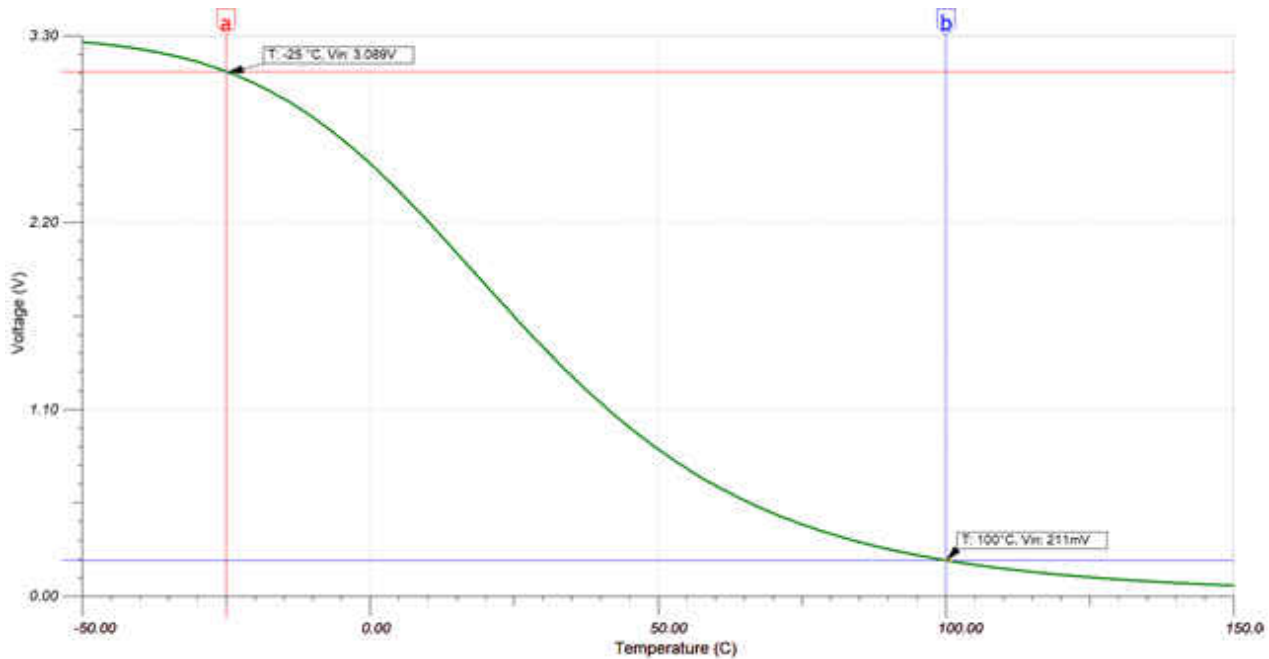
## 温度传输特性

-25°C 至 100°C 的所需温度范围的线性 NTC 电压范围处于 ADC 输入范围内，并使用了 87% 的 ADC 满标量程。以下公式用于根据 ADC 测量的电阻分压器求解测量温度。这并不包含系统校准或系统容差。

$$T = \frac{1}{\frac{1}{298.15K} + \frac{1}{B} \cdot \ln\left(\frac{V_o R_1}{R_{@298.15K}(V_{AVDD} - V_o)}\right)}$$

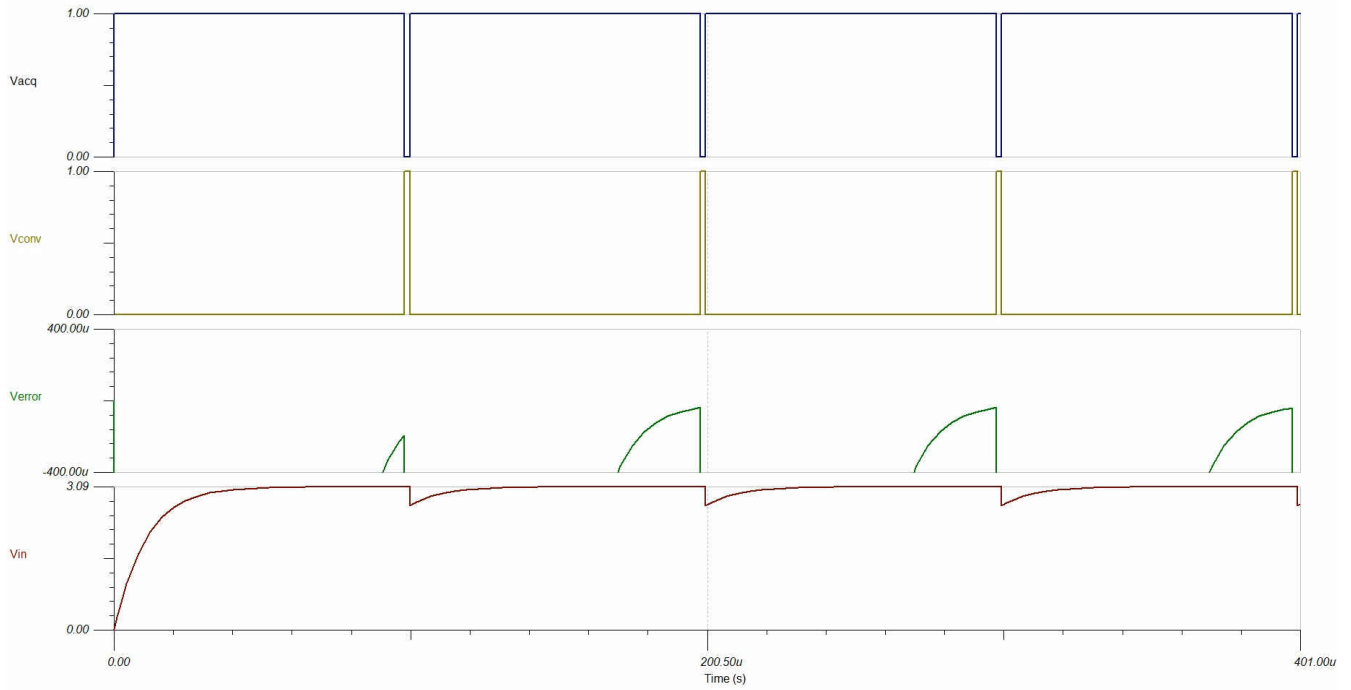
其中：

- T 为温度，单位为开尔文 (K) ( $^{\circ}\text{C} + 273.15 = \text{K}$ )
- $V_o$  是由 ADC 测量的电阻分压器输出电压
- B 是 NTC 的热敏电阻 B 值，单位为开尔文 (K)，本例中为 3977
- $R_{@298.15K}$  是 25°C 下的热敏电阻的阻值 ( $\Omega$ )，本例中为 100k $\Omega$
- $V_{AVDD}$  是分压器的参考电压和源电压，本例中为 3.3V
- $R_1$  为 100k $\Omega$



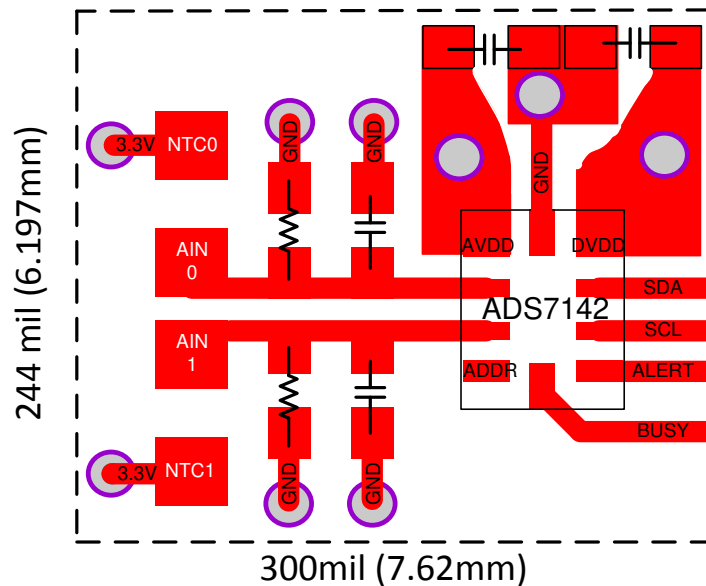
## 瞬态直流输入启动和稳定

预期的启动时间随 NTC 电阻状态而异。下图显示了 NTC 将经历的最大电阻值，因为这是 ADC 输入稳定的最坏情况。Verror 图显示了在每个采集周期结束时输入稳定误差小于 LSB 的一半，即  $\pm 402 \mu\text{V}$ 。请参阅 [TI 精密实验室](#)：有关 ADC 稳定的解说，请参阅 [驱动 ADC 输入](#)。



## 小型布局

ADS7142 是一款采用  $1.5\text{mm} \times 2\text{mm}$  的小型 X2QFN 封装的双通道 I2C ADC。下图是使用 ADS7142 的系统级解决方案，每个模拟输入连接两个 NTC，而每个输入可监测不同类型的传感器。



## 设计中采用的器件

器件	关键特性	链接	其他可能的器件
<a href="#">ADS7142</a> <sup>(1)</sup>	12 位分辨率, I2C, 自主监控, 双通道单端输入, 小型封装尺寸: 1.5mm × 2mm	<a href="#">ADS7142</a>	<a href="http://www.ti.com/adcs">http://www.ti.com/adcs</a>
<a href="#">ADS7042</a> <sup>(1)</sup>	12 位分辨率, SPI, 1MSPS 采样率, 单端输入, AVDD, Vref 输入范围为 1.6V 至 3.6V	<a href="#">ADS7042</a>	<a href="http://www.ti.com/adcs">http://www.ti.com/adcs</a>

(1) ADS7142 和 ADS7042 使用 AVDD 作为基准输入。使用高 PSRR LDO ( 如 TPS7A47 ) 作为电源。

## 设计参考资料

有关 TI 综合电路库的信息, 请参阅 [模拟工程师电路手册](#)。

## 主要仿真文件链接

<https://www.ti.com/cn/lit/zip/sbac283>

## 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