



摘要

本应用手册介绍了用户将 5V 输入连接到 Sitara™ AM2x 微控制器的设计和注意事项。

内容

1 引言.....	2
2 用例注意事项.....	3
3 连接高压传感器.....	4
3.1 ADC 正确采样的注意事项.....	4
3.2 处理高阻抗传感器.....	5
4 性能注意事项.....	7
4.1 ADC 增益、偏移、INL 和 DNL.....	7
4.2 SNR 注意事项.....	7
4.3 性能优势.....	7
5 结论.....	8
6 参考文献.....	9

商标

Sitara™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

TI 的 Sitara™ MCU 产品将 SAR ADC 集成到先进的小尺寸 CMOS 工艺节点中。为了进行优化以实现低成本和高性能，并避免支持更高模拟电源电压所需的高成本掩模组和/或更大的芯片面积，这些 ADC 的输入电压范围限制为 3.3V。对于许多应用来说，该范围足以满足要求，但是在某些应用中，尤其是一些传统的工业或汽车传感器，可能需要更高的 ADC 输入范围（例如 5V）。

根据应用的不同，还会存在其他设计限制，例如输入源无法驱动 SAR ADC 的采样电容器。另一个设计问题可能是整个信号链的噪声性能。本应用手册说明如何解决问题，如何连接额定电压比 Sitara™ MCU 更高的不同输入源，以及权衡取舍。

2 用例注意事项

首先，我们需要检查传感器是否确实需要 5V ADC。许多传感器的额定电压为 5V 或由 5V 电源供电，但在用例中，模拟输出不会超过 3.3V。一个很好的示例是温度传感器 LM50 由 5V 或更高电压的电源供电，但在所需的 -40°C 至 150°C 工作温度窗口内，最大模拟输出电压将被限制在充分低于 3.3V 的水平。因此，该传感器可以轻松地将连接到 Sitara™ ADC，无需任何其他硬件。

3 连接高压传感器

为了将 5V 或任何其他更高电压信号衰减至 3.3V，较简单且低成本的方法是通过如下所示的无源电阻分压器网络。下图适用于单端实现方案，但也可轻松扩展，以便用于差分输入。

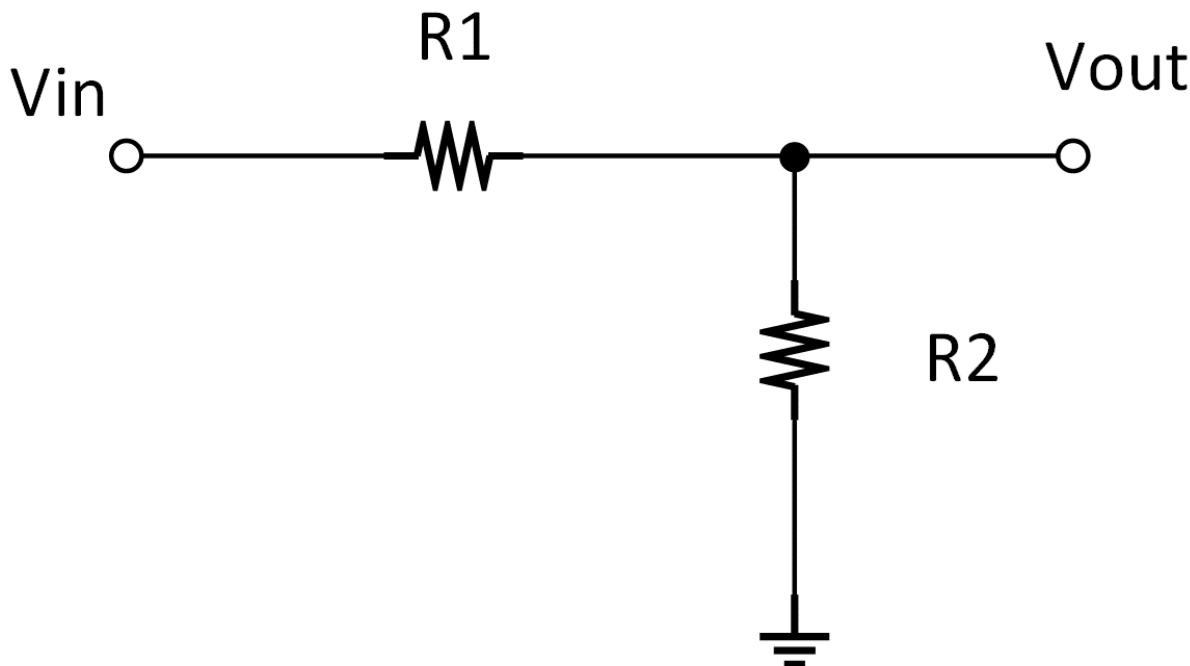


图 3-1. 电阻衰减器

$$V_{out} = V_{in} \times R2 / (R1 + R2) \quad (1)$$

如果信号 V_{in} 具有 0 至 5V 的摆幅，并需要驱动 0V 至 3.3V 的 ADC 输入，则

$$R2 \cong 1.94 \times R1 \quad (2)$$

如果源具有任何输出阻抗，则只需将其作为 $R1$ 的一部分进行预算即可。为避免不必要的接地噪声注入，电阻梯的接地端最好短接至干净的模拟接地端 (ADC 接地端或 ADC 负基准)。

这种简单的方法非常有效，但有一些限制。可以通过执行下面几节中介绍的方法来克服这种限制。

3.1 ADC 正确采样的注意事项

在采样窗口期间，SAR ADC 将有一个连接到输入端的电容网络，并会对输入电压进行采样。该电容网络不提供任何阻性负载，因此在采样时间足够长的情况下，输入将始终稳定至正确的 V_{out} 电压。

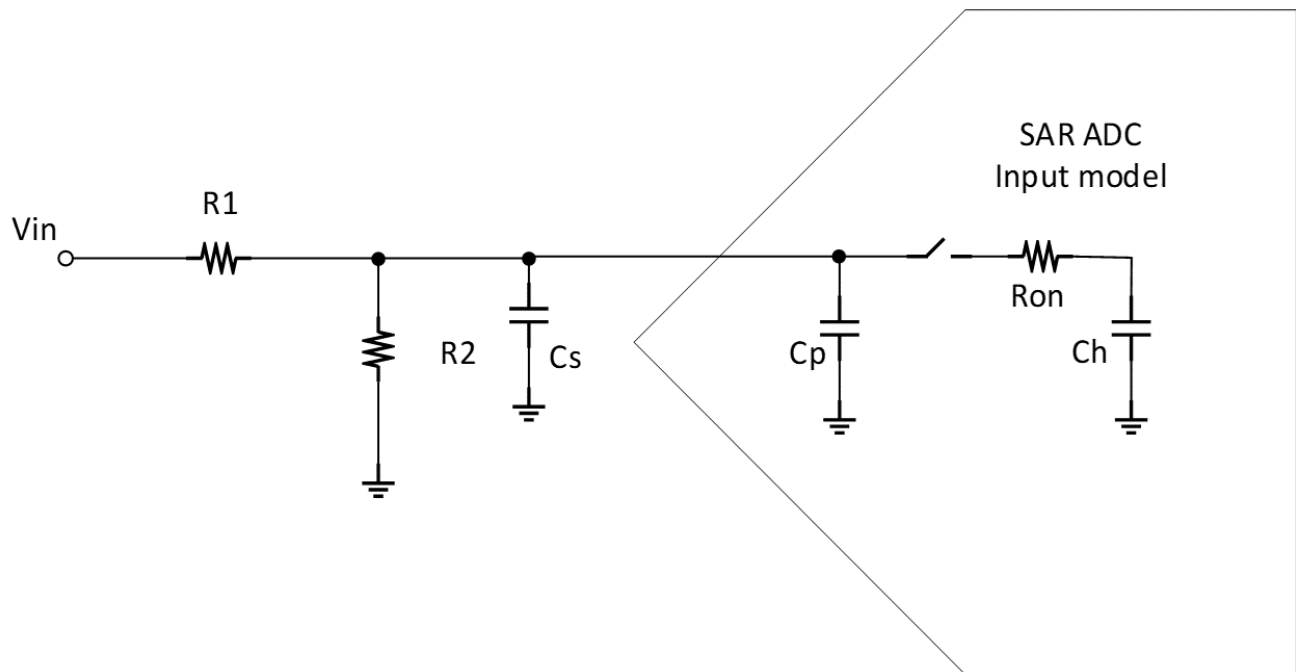


图 3-2. ADC 接口

TI 有关 [电荷共享驱动电路](#) 的应用手册提供了关于如何选择源极电阻器和电荷共享电容器来驱动 SAR ADC 的优秀教程。

CP、Ron 和 Ch 以及采样时间是 ADC 规格表中给出的 ADC 参数。稳定误差 (以 LSB 为单位)、ADC 驱动源阻抗 ($R_s = R1//R2$) 和电荷共享电容值 (Cs) 取决于应用, 可根据该应用手册中的指南进行选择。第 30 页举例说明了如何为 SAR ADC 输入端的分压器选择外部电阻器和电容器。

通用指南是, R1、R2 和 Cs 的值越低, 网络的响应速度就越快。该指南应该用于高带宽信号路径。

3.2 处理高阻抗传感器

某些应用要求 ADC 在相对高阻抗的传感器上采样 5V 信号。该传感器在某些情况下可能无法驱动或支持 R1+R2 的直接负载, 尤其是当它们不是很高时。为了解决这个问题, 我们可以增加 R1+R2 直至满足所需的负载限制, 并使用非常大的 Cs 来帮助 ADC 采样。

例如, 我们可以使用 R1=1.7M 和 R2=3.3M 以及 Cs=30nF 来提供一个网络, 该网络为传感器提供 5M 阻抗, 同时即使在最高采样率下也能实现纯净的 ADC 采样。

使用较高的 R1 和 R2 值时, 必须注意 ADC 输入负载对电路精度的影响。例如, 在此用例中, 如果 ADC 配置为切换到该传感器并每 1us 对电阻梯进行一次采样, 这将提供最坏情况下的平均负载 $R=1us/(Cp+Ch) \approx 100K$, 这个值与电阻梯相比非常大, 因此会在测量中导致相当大的误差。为了减小这一误差, 我们只需降低采样率。如果我们每 1ms 检测一次该输入, 此阻抗将跳至大约 100M, 但不会对精度产生任何影响。这种更新速率降低问题通常不是高阻抗传感器的问题, 这些传感器本身就很慢。此外, 该阶梯网络还将有一个大约 4Hz 的模拟滤波器, 所以每 1us 的采样与每 1ms 的采样没有什么不同。还有一个额外的好处, 此滤波有助于在许多用例中消除系统噪声。

解决该问题的一种更好但成本稍高的方法是使用具有高输入阻抗和低输出阻抗的运算放大器。TI 的高性能低成本运算放大器具有非常广泛的选择范围和许多应用手册。下面展示了一个采用常见 OPA320 或 OPA320-Q1 器件的示例。一个具有低输出阻抗的高阻抗单位增益运算放大器将驱动电阻分压器, 并提供与电阻分压器和采样电容器的隔离。

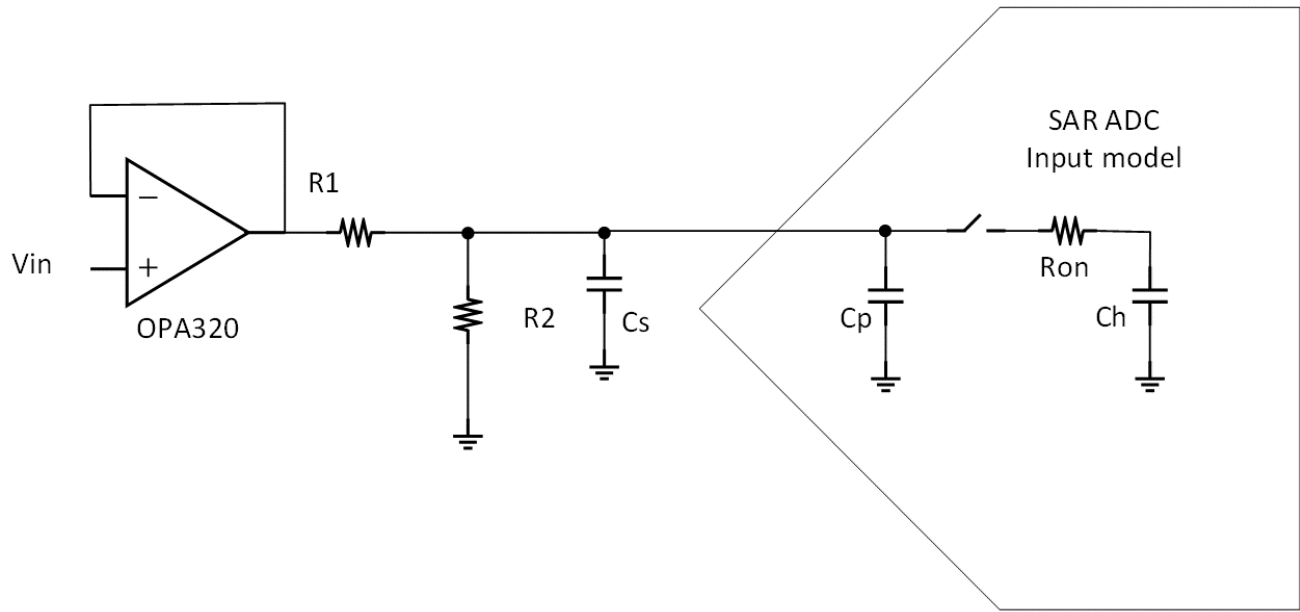


图 3-3. 运算放大器驱动电路

4 性能注意事项

以下各节介绍了与减小信号动态范围相关的性能指标。

4.1 ADC 增益、偏移、INL 和 DNL

假设 ADC 具有偏移 m LSB。现在假设 $V1$ 是输入电压，LSB 是 Sitara MCU 内部实际 3.3V SAR ADC 的步长 ($\approx 3.3/2^{12}$)。ADC 在输入为“ $V1$ ”时生成输出代码“ c ”，偏移为“ m LSB”。

$$V1 = c \times LSM + m \times LSB \quad (3)$$

$$c = (V1/LSB) + m \quad (4)$$

现在假设在电阻梯的输入端施加 $V2$ ，即在 ADC 的输入端施加该电压

$$V3 = V2 \times R1/(R1 + R2) \quad (5)$$

$$C2 = (V3/LSB) + m \quad (6)$$

$$V3 = C2 \times LSB + m \times LSB \quad (7)$$

$$V2 = C2 \times LSB \times (R1 + R2)/R1 + m \times LSB \times (R1 + R2)/R1 \quad (8)$$

比较前面的两个公式，可以看出电阻梯只是按比例缩放 LSB 大小，偏移实际上仍然是使用 3.3V ADC 时“相同数量的 LSB”。事实证明，增益误差和 INL、DNL 也可以采用相同的缩放方式。

简单来说，如果 3.3V ADC 的偏移误差为 2 LSB (LSB=3.3/4096)，那么在阶梯电阻的输入端，仍然具有 2 LSB 的偏移误差，但 LSB=5/4096，稍微大一点。

4.2 SNR 注意事项

对于 **12b ADC**，SNR 下降 5V 至 3.3V 将导致大约 $\frac{1}{2}$ LSB SNR 的损失，这个损失通常不是很严重。理想的 12 位 ADC SNR 将从 74dB 降至 70.6dB，并具有 5V 至 3.3V 的衰减。以下定义和公式解释了这种降级。

源噪声：信号 V_{in} 中嵌入的任何噪声也会通过电阻分压器电路衰减，因此不会影响整体信噪比 (SNR) 性能。

共地噪声：共地噪声不会被电阻分压器电路衰减，因此会对 SNR 产生影响。衰减因子会降低 SNR。对于 5V 至 3.3V 信号衰减，SNR 降级为：

$$3.3/5 = 0.66 \quad (9)$$

$$20 \log(0.66) \cong -3.6 \text{ dB} \quad (10)$$

一个 N 位 ADC 的理想 SNR 等于

$$Ideal \text{ SNR} = 6.02 \times N + 1.76 \text{ dB} \quad (11)$$

4.3 性能优势

Sitara™ MCU 具有一个工作电压为 3.3V 的 ADC，其步长比类似 5V ADC 的步长小得多 (小大约 66%)。通过巧妙的系统设计，这可以发挥出显著优势。大多数传感器具有较宽的工作范围，但用例可能会将输出变化限制在有限的范围内 (请参阅第 2 节)。例如，我们可以考虑一个使用 LM35 温度传感器并在室温 (27°C) 下运行的用例。如果该传感器直接连接到 Sitara™ MCU，我们将获得大约 800uV ($=3.3V/4096$) 的步进分辨率，从而实现大约 0.08°C 的温度分辨率 (每个 ADC LSB 大约为 0.08°C)，而如果连接等效的 5V ADC (步进大小 = $5V/4096 \approx 1.2mV$)，则只能以大约 0.12°C 的温度分辨率进行测量。

5 结论

要支持高压传感器，高压 ADC 并非不可或缺。本文档说明了在我们转向高压设计之前必须考虑的多个要点。5V 至 3.3V 衰减器电路是一种将 5V 信号连接到 Sitara™ MCU 产品的单片 3.3V ADC 的低成本高效方法。对于大多数应用而言，信号衰减可以忽略不计。

6 参考文献

- [Sitara MCU 器件产品系列](#)

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