

## 引言

ADAS、车身电子装置、动力总成等汽车系统需要用到精密数据转换器。对于每个数据转换器，在测量汽车信号时，通常都需要一个精确的基准电压 (VREF) 以便误差尽可能低。许多数据转换器可以合并内部基准，但在 CMOS 技术中很难找到一个内部基准电压能够达到双极工艺的高精度、低温漂和低噪声。这在 MCU 的数字处理中更为复杂，由于存在各种固有的时钟噪声，内部基准往往会有噪声。因此，通常需要使用外部基准电压来进行更精确的测量。

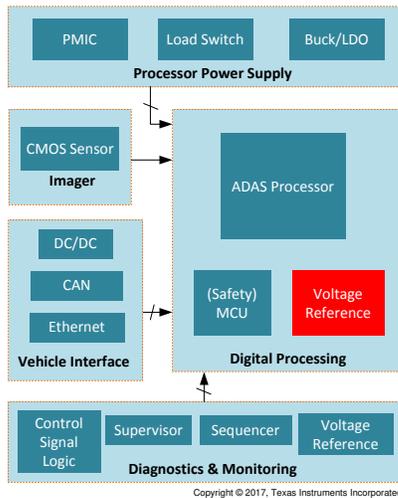


图 1. 简化的 ADAS 前置摄像头示意图

## 用于监控 1% 1V 电压轨的基准电压

在汽车高级驾驶辅助系统 (ADAS) 中，监控 MCU/DSP/FPGA 中使用的电压轨非常重要。通过 ADC 和电压监控器组合来独立监控电压轨，确保电压轨不会超过可能导致欠压或过压事件 (可能损坏 MCU/DSP/FPGA) 的某个电压。通常，这些 ADC 在微控制器 (MCU) 内部，用于确保电压轨正常工作。在 MCU 上连接一个外部 VREF 以保证精度，并确保内部 ADC 有一个冗余的基准电压以保证稳健性，这种情况并不罕见。通过添加一个外部 VREF，有可能得到一个精确的 ADC，不需要校准就可以监控 1% 1V 电压轨。

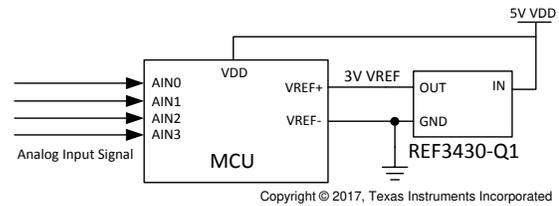


图 2. 带 MCU 的 REF3430-Q1

为了确保系统符合误差规格，务必要对信号链进行表征以了解电压轨误差，这一点非常重要。电压轨误差日趋严格，因为允许的总误差一直在减小，从而可以打造出一个更优化的系统。表征 MCU 中的信号链误差时会存在一个问题，即内部基准电压通常不会像外部电压基准那样全面而深入地表征，而且往往缺乏最差值上限。因此，很难计算出系统最坏情况下的误差。使用外部基准电压可解决这一难题，如图 2 中的 REF3430-Q1 所示。

表 1. 典型的内核电压轨监控

规格	要求
电压轨	1V
最大误差 (-40C 至 125C)	1%

表 1 所示为关于电压轨监控要求的一个示例，该要求为通过微型计算机监控 ADAS 系统中精密 MCU 的 1V 电压轨。由于某些电压电源轨严格要求限制在一定的电压范围内，我们希望确保信号链系统的总误差小于 1%，这样就可以测量偏差，在本例中偏差为 10mV。

对于 1V 直流测量，可以通过一个外部基准电压来计算总误差。可通过两种方法来计算系统误差：一种是最坏情况法，另一种则是和的平方根 (RSS) 法。误差计算之间的主要区别在于如何组合一个系统的各个误差。在基于最坏情况的误差计算中，所有误差都是它们最坏情况的叠加，结果趋于保守，虽能确保每个器件都正常工作，但主要缺点是要考虑到 6 个以上  $\Sigma$  的事件，这会使系统成本增加。最坏情况法的一种常见替代方法是基于统计公差分析的 RSS 法。之所以使用 RSS，是因为它提供了一个更实际的、基于分布的可接受限值。而在本例中，我们使用 RSS 是因为它能够更真实地表示误差。

表 2. REF3430-Q1 3V 规格

规格	要求
基准电压 + 初始精度	3V $\pm$ 0.05%
温漂 (-40°C 至 125°C)	6ppm/°C

**表 2. REF3430-Q1 3V 规格 (continued)**

规格	要求
温度迟滞 (温度系数)	30ppm
长期稳定性	25ppm
1/f 噪声	15μV <sub>PP</sub>

VREF 基准计算的总误差是初始精度、温度系数等所有误差的总和。为了计算总误差，所有误差都应采用通用单位，如方程式 1 中的 ppm (百万分率)。通过校准可以进一步减小 VREF 总误差，因为校准可以消除初始精度和温度系数等静态误差。本例中省略了焊接漂移、负载调节、线路调节等误差，但可以将这些误差一并加入，从而计算出 VREF 总误差的更准确值。方程式 1 所示为如何使用 RSS 法合并所有这些误差。

$$\begin{aligned}
 \text{Error}_{\text{VREF}|_{\text{Total}}} &= \sqrt{(\text{Accuracy})^2 + (\text{TempCo})^2 + (\text{TempHyst})^2 + (\text{Long Term Drift})^2 + (1/f \text{ Noise})^2} \\
 &= \sqrt{(500\text{ppm})^2 + (6\text{ppm}/^\circ\text{C} * 165^\circ\text{C})^2 + (30\text{ppm})^2 + (25\text{ppm})^2 + (15\mu\text{V}_{\text{PP}}/3\text{V})^2} \\
 &= 1110\text{ppm}
 \end{aligned} \quad (1)$$

**表 3. 内部 MCU ADC 示例**

规格	要求
分辨率	12 位
增益误差	4 LSB
偏移误差	4 LSB
INL 误差	4 LSB

选择 ADC 时，找到一个误差尽可能小的 ADC 非常重要。本例使用了符合表 3 中所示规格的内部 MCU ADC。这种情况下的 ADC 总误差也称为总体未调整误差，它的计算方法类似于使用 RSS 法计算 VREF 总误差。

$$\begin{aligned}
 \text{Total Unadjusted Error} &= \text{Error}_{\text{ADC}|_{\text{Total}}} \\
 &= \sqrt{(\text{Gain Error})^2 + (\text{Offset Error})^2 + (\text{INL Error})^2} \\
 &= \sqrt{(4 \text{ LSB})^2 + (4 \text{ LSB})^2 + (4 \text{ LSB})^2} \\
 &= 6.92 \text{ LSB}
 \end{aligned} \quad (2)$$

进行误差计算时，ADC 的误差是独立的，但基准电压的误差与 ADC 模拟输入信号成正比。方程式 2 中计算的 VREF 总误差只有在模拟输入信号为满刻度时才有效。在本例中，由于模拟输入为 1V，而不是满刻度电压，只有 VREF 总误差的一小部分影响到模拟输入，这可在方程式 3 中看到。

$$\begin{aligned}
 \text{Error}_{\text{VREF}@\text{AIN}|_{\text{Total}}} &= \frac{\text{Error}_{\text{VREF}@\text{AIN}|_{\text{Total}}} * \text{Analog}_{\text{IN}}}{\text{Reference Voltage}} \\
 &= \frac{1110\text{ppm} * 1\text{V}}{3\text{V}} \\
 &= 370\text{ppm}
 \end{aligned} \quad (3)$$

在 ADC 规格下，使用方程式 4 将 VREF 总误差转换为 LSB，如此一来，使用方程式 5 中的 RSS 法可以合并 VREF 和 ADC。

$$\begin{aligned}
 \text{Error}_{\text{VREF}@\text{AIN}|_{\text{Total}}} (\text{LSB}) &= \text{Error}_{\text{VREF}@\text{AIN}|_{\text{Total}}} * 2^{\text{ADC Resolution}} \\
 &= 370 \text{ ppm} * 2^{12} \\
 &= 1.51 \text{ LSB}
 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Error}_{\text{VREF}+\text{ADC}|_{\text{Total}}} &= \sqrt{(\text{Error}_{\text{VREF}@\text{AIN}|_{\text{Total}}})^2 + (\text{Error}_{\text{ADC}|_{\text{Total}}})^2} \\
 &= \sqrt{(1.51 \text{ LSB})^2 + (6.92 \text{ LSB})^2} \\
 &= 7.08 \text{ LSB} \\
 &= 2.82 \text{ bits}
 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Effective Resolution} &= \text{ADC Resolution} - \text{Error}_{\text{VREF}+\text{ADC}|_{\text{Total}}} \\
 &= 12 \text{ bits} - 2.82 \text{ bits} \\
 &= 9.18 \text{ bits}
 \end{aligned} \quad (6)$$

**表 4. 总误差**

规格	要求
REF3430-Q1 AIN 总误差	1.51 LSB
ADC 总体未调整误差	7.08 LSB
V <sub>in</sub> 误差百分比	0.517%

表 4 总结了系统的最终误差，因为外部基准电压可以帮助表征误差以确保满足最小精度。在实践中，测量值将比 RSS 总误差更精确，但该误差可以为实现改进提供一个基准。主要误差来自 ADC，因此选择更精确的 ADC 即可轻松减小系统的 ADC 误差。还有一些技术可用于改善基准电压误差，例如使用更高的外部基准电压。在表 5 中，有一些备选基准电压器件可帮助减小这种误差或节省电力。

**表 5. 备选器件建议**

器件	优化参数
REF3130-Q1	静态电流、温漂
REF5025-Q1	初始精度、温漂、噪声
LM4132-Q1	静态电流、温漂
LM4128-Q1	静态电流，温漂

## 重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

## 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