

Application Note

具有 REF5025 的低噪声负参考设计



Tony Jung

摘要

本文档说明了如何使用 REF5025 生成高精度、低噪声负基准电压输出。REF5025 主要适用于数据转换器，因此可能需要具有负基准电压。使用数据转换器设计信号路径的一个关键考虑因素是更大限度地降低噪声水平，从而在使用 DAC8801 和 AFE58x8 数据转换器的医疗应用中提高图像质量。本应用报告介绍了生成负 A 基准电压的两种方法，可更大限度降低基准输出噪声。

内容

1 简介.....	2
2 电压基准架构.....	2
2.1 并联或串联基准.....	2
2.2 选择合适的系统基准.....	3
3 电压基准的主要规格.....	4
3.1 温度系数.....	4
3.2 初始精度.....	4
3.3 0.1Hz 至 10Hz 峰峰值噪声.....	4
3.4 热迟滞和长期稳定性.....	4
3.5 负载调整率和线性调整率.....	4
4 负输出设计和噪声分析的方法.....	5
4.1 使用 REF5025 和 OPA192 通过电平移位进行电压反相.....	5
4.2 使用缓冲器生成负基准输出.....	5
4.3 最大限度减少噪声的一种方法.....	6
5 结语.....	7
6 参考资料.....	7
7 修订历史记录.....	7

插图清单

图 2-1. 串联和分流器架构的电路符号和简化原理图.....	2
图 4-1. 使用 TRIM/NR 引脚来进行 VOUT 调节 (左) 和降噪 (右)	5
图 4-2. 电平转换电路和噪声分析结果.....	5
图 4-3. 缓冲器使用和噪声仿真电路.....	6
图 4-4. 添加低频滤波器以尽可能降低输出噪声.....	6

表格清单

表 2-1. 串联对比分流架构.....	3
----------------------	---

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

通常，电压基准是一种产生固定电压的电子器件，无论以下情况如何：

- 在器件上负载
- 电源差异
- 温度变化
- 时间的流逝

以下器件和系统通常会看到电压基准：

- 模数 (ADC) 转换器
- 数模 (DAC) 转换器
- 电源
- 其他测量系统

REF50xx 是一款噪声低、漂移低、精度电压基准极高的产品系列。本文档全面概述了电压基准基础知识、应用设计及负基准输出配置。电压基准是数据转换系统的关键组成部分之一。它们使 ADC 或 DAC 能够读取准确的值，并用于各种高精度数据转换应用。现代有源器件（例如模数和数模转换器以及运算放大器）通常不需要负电源电压。但是，在某些情况下仍需要负电压，包括高性能、高速模数转换器和数模转换器。TI 的低噪声模拟前端 (AFE) 具有时间增益控制功能，可以根据时间改变接收器增益。这些 AFE 可支持超声波扫描仪应用。

2 电压基准架构

2.1 并联或串联基准

电压基准是数据转换系统的主要构建块。了解电压基准的规格及其对误差的影响，对于为应用选择合适的基准是必要的。图 2-1 展示了两种可用的电压基准拓扑：串联和分流。串联基准通过位于 V_{IN} 和 V_{REF} (Q1) 之间的串联晶体管提供负载电流。它基本上是一个高精度、低电流线性稳压器。并联基准通过并联晶体管 (Q2) 将多余电流分流到地，从而调节 V_{REF} 。

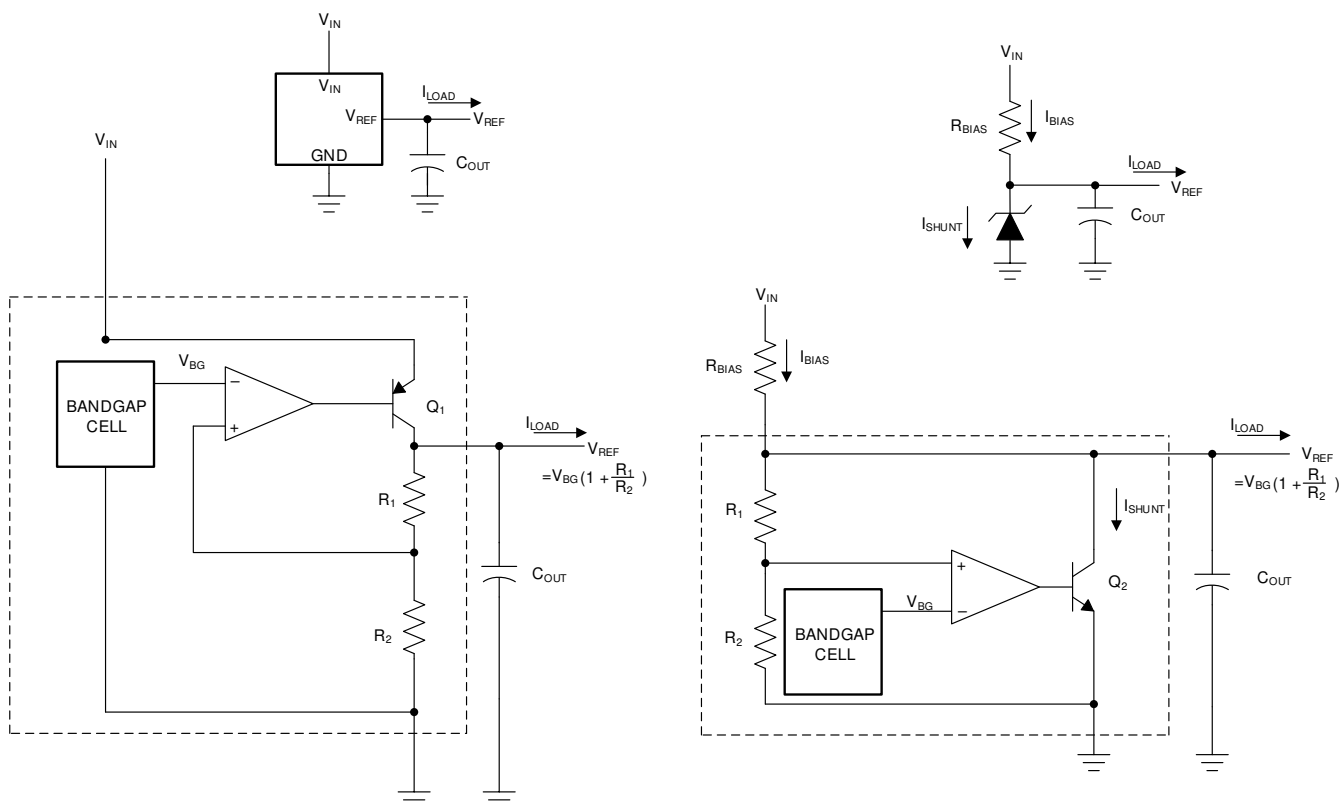


图 2-1. 串联和分流器架构的电路符号和简化原理图

2.2 选择合适的系统基准

表 2-1 描述了每种架构的优缺点。

表 2-1. 串联对比分流架构

	串联基准	分流基准
优点	<ul style="list-style-type: none"> 功率耗散明显更低 通常精度更高 低 IQ 和低压降 	<ul style="list-style-type: none"> 宽 VIN 容差以及适当的电阻器选择 负基准电压或使基准电压悬空 固有灌电流
缺点	<ul style="list-style-type: none"> 受限最大 VIN 	<ul style="list-style-type: none"> 最大负载时 VIN 电流固定 无关断模式
应用	<ul style="list-style-type: none"> 医疗 工厂自动化 电网 测试设备 	<ul style="list-style-type: none"> 隔离式电源 汽车适配器

3 电压基准的主要规格

与所有 ICS 一样，电压基准具有标准化的设计参数，可用于确定合适的器件。以下是按重要性顺序列出的主要规格：

3.1 温度系数

VREF 随温度的变化由其温度系数 (TC，也称为“漂移”) 定义，单位为每摄氏度百万分率 (ppm/°C)。为便于讨论，将基准电压温度的依赖性表示为多项式很方便。REF50xx 旨在最大程度减小温漂误差，温漂误差定义为输出电压在温度范围内的变化。

3.2 初始精度

VREF 的初始精度指示所述标称电压同基准电压 (在状态偏置条件下保证在室温下) 的接近程度。通常以百分比的形式指定，范围为 0.01% 至 1% (100 - 10000ppm)。例如，在室温下测量时，初始精度为 0.1% 的 2.5V 基准电压必须介于 2.4975V 和 2.5025V 之间。初始精度的重要性主要取决于数据转换系统是否经过校准。

3.3 0.1Hz 至 10Hz 峰峰值噪声

电压基准内部产生的噪声会导致动态误差，从而降低数据转换器的信噪比 (SNR)。该误差会减小估算的分辨率位数 (ENOB)。通常，数据表会提供针对低频噪声和高频噪声的单独规格。宽带噪声通常指定为 10kHz 至 10kHz 带宽内的 RMS 值 (以微伏为单位)。宽带噪声不是这两者中的问题，因为它可以使用大型 VREF 旁路电容器来降低。根据设计人员关注的信号带宽，宽带噪声在给定应用中可能很重要，也可能不重要。

3.4 热迟滞和长期稳定性

热迟滞是由于热偏移而导致的 VREF 变化。该参数以百万分率为单位。热偏移定义为从室温到最低或最高温度然后回到室温的偏移。温度范围 (商业级、工业级或扩展级) 和热偏移的定义因制造商而异，因此很难进行直接比较。长期稳定性描述了在标称条件下 1000 小时 (或六周) 连续运行之后 VREF 的典型变化。这旨在让设计人员大致了解应用整个生命周期内的基准电压稳定性。

3.5 负载调整率和线性调整率

负载调节是作为负载电流的函数来衡量 VREF 变化的指标。它可以指定为百分比，也可以表示为每毫安百万分率 (ppm/mA)。它的计算方法是将最小和最大负载电流下 VREF 的相对变化除以负载电流范围。负载调节取决于参考设计以及将其与负载分离的寄生电阻，因此在 PCB 布局允许的情况下，基准必须尽可能靠近负载放置。

在许多数据转换器上，基准输入的阻抗足够大 ($> 10\text{ k}\Omega$)，负载调节误差可能不大。最大负载电流信息可以在 ADC 或 DAC 数据表中找到，它们是最小基准引脚电阻 (RREF) 或最大基准电流 (IREF)。在采用高速运算放大器缓冲基准的情况下，负载调节误差通常可以忽略不计。线性调节仅适用于串联电压基准，是作为输入电压函数的基准电压变化测量值。线路调节的重要性取决于输入电源的容差，当输入电压容差处于 10%，以内或更低时，可能不会对总误差产生显著影响。

与线路调节一样，PSRR 的重要性取决于输入电源规格。例如，如果 VIN 由于开关稳压器而产生噪声，对 EMI 敏感并且受到大负载瞬态影响，PSRR 可能至关重要。

4 负输出设计和噪声分析的方法

要在 DAC8801 上生成正电压输出，数据转换器需要一个负电压基准。通常，医疗图像应用需要在数据转换信号路径上实现低噪声性能。对于需要负电压和正电压的应用，数据表为 REF50xx 系列的每个成员指定了典型的 0.1Hz 至 10Hz 电压噪声。由于重点关注噪声抗扰度，一些 REF50xx 系列基准具有 TRIM/NOISE REDUCTION (NR) 引脚，以增强性能。如图 4-1 所示，TRIM/NR 引脚可以将输出电压调节高达 $\pm 15\text{mV}$ ，并形成一个小通滤波器。如图 4-1 所示，此过程使用电容器来降低在 VOUT 上测得的总体噪声。请注意，增加电容器尺寸会继续提高噪声性能，但会增加启动时间。在分析噪声时，相应地注入外部干扰信号。

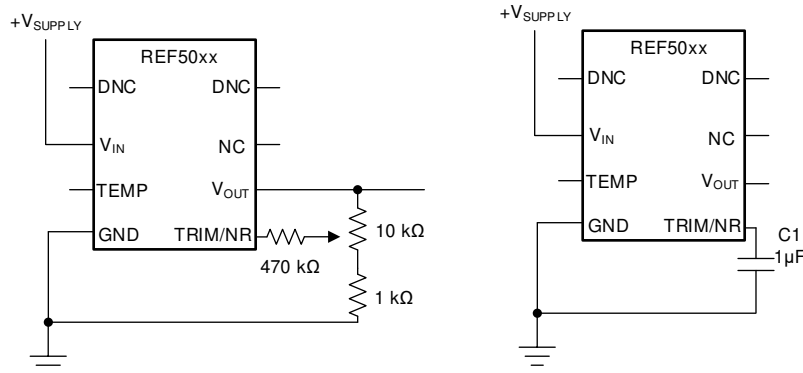


图 4-1. 使用 TRIM/NR 引脚来进行 VOUT 调节 (左) 和降噪 (右)

4.1 使用 REF5025 和 OPA192 通过电平位移进行电压反相

对于用于生产正 DAC 输出的 DAC8801 基准输入，必须先创建大约 -2.5V 负输出基准和负输出电路配置。图 4-2 显示了将输出电压从正反相为负的电路。输出是运算放大器输入的反馈。REF5025 上的接地电平与运算放大器输出相关，从而将正电平移至负电平。这是通过将反相电路用作负基准输出来实现的。根据图 4-2 中的噪声水平仿真图，输出为 -2.5V 。对于该电路，VREF 负输出噪声在 10kHz 时约为 $210\text{nV}/\text{rtHz}$ 。

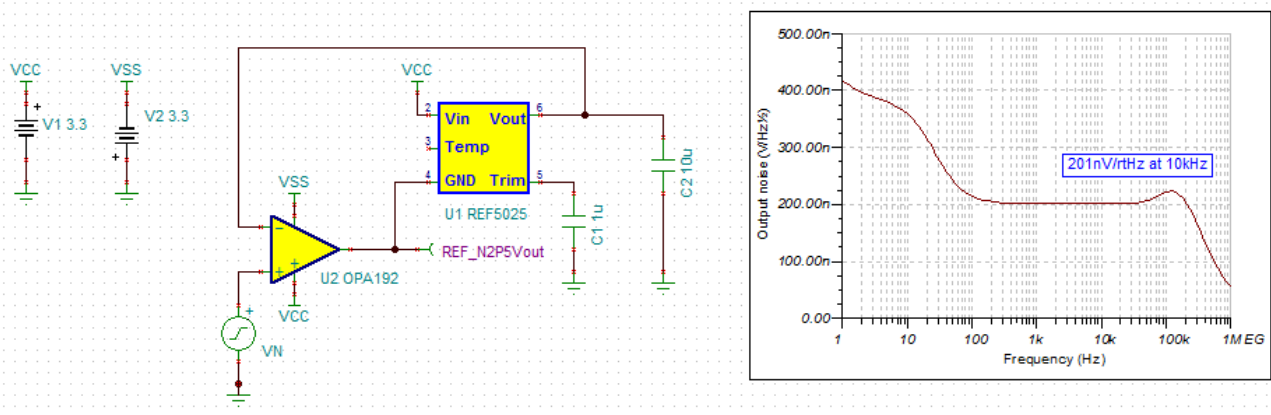


图 4-2. 电平转换电路和噪声分析结果

4.2 使用缓冲器生成负基准输出

图 4-3 展示了如何使用缓冲器生成负输出。来自 REF5025 输出的缓冲器输入为正，运算放大器将电压电平从正反相为负。为了提高抗噪性能，请选择低噪声运算放大器。OAP192 应用于该缓冲器电路。在该电路中，10kHz 时的 VREF 负输出噪声约为 $271\text{nV}/\text{rtHz}$ ，这略高于图 4-2，因为 OPA192 和用于配置缓冲器的外部无源器件会产生附加噪声。

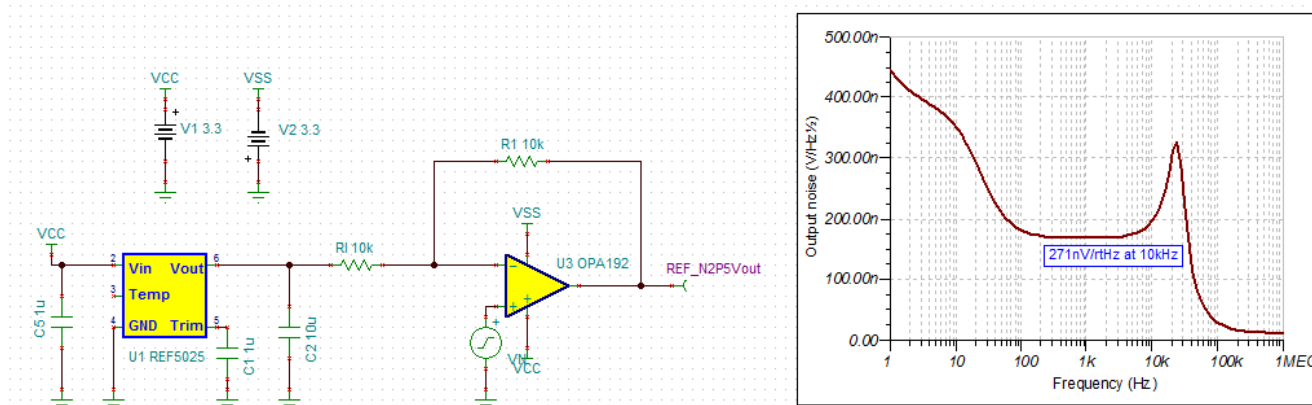


图 4-3. 缓冲器使用和噪声仿真电路

4.3 最大限度减少噪声的一种方法

在图 4-2 中，在电路下方应用了低频滤波器以尽可能降低输出噪声。要进一步减少低频范围内的输出噪声，请在低截止频率下应用滤波器。图 4-4 显示了基准和 ADC 或 DAC 之间使用超低截止滤波器的电路的噪声分析仿真结果。与没有低通截止滤波器的电路相比，噪声水平较低。10kHz 时，VREF 负输出噪声约为 13.8nV/rtHz。尽管与图 4-3 相比有所改善，但通过添加低频滤波器可以进一步降低噪声。

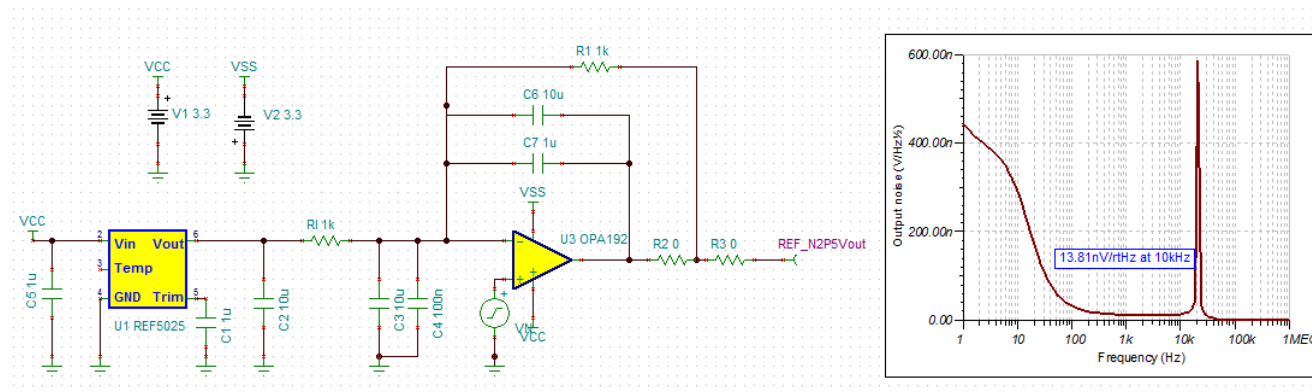


图 4-4. 添加低频滤波器以尽可能降低输出噪声

5 结语

通常，电压基准是数据转换系统中的关键构建块，并且 DAC8801 等一些转换器需要负基准电压来生成正 DAC 输出。设计人员可以根据数据转换器类型和转换范围制作各种基准电压电路，具体取决于系统要求。本应用报告介绍了 REF5025 和 OPA192 的两种负基准输出电路。一种方法使用电平转换反相，而另一种方法使用缓冲器生成负输出。也可以使用 TINA 中的噪声分析工具查看每种情况的噪声分析结果。图 4-4 会介绍减少噪声的理想方法。因此，可在 REF5025 上实现具有低噪声和高性能电压输出的负基准电路。

6 参考资料

1. 德州仪器 (TI)，[REF5025 低噪声、极低温漂、精密电压基准数据表](#) (SBOS410)
2. 德州仪器 (TI)，[基准电压选择基础知识白皮书](#) (SLPY003)
3. 德州仪器 (TI)，[TI 设计：适用于超声应用的 2.3nV/√Hz、差分、时间增益控制 DAC 参考设计](#) (TIDUD38)

7 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 * (December 2019) to Revision A (October 2026)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月