

# Analog Engineer's Circuit

## 高电压电池监控电路：±20V、0kHz-10kHz、18 位全差分



Bryan McKay, Arthur Kay

输入	ADC 输入	数字输出 ADS8910
VinMin = - 20V	VoutDif = 4.8V , VoutP = 4.9V , VoutN = 0.1V	1EB85 <sub>H</sub> 或 125829 <sub>10</sub>
VinMax = 20V	VoutDif = -4.8V , VoutP = 0.1V , VoutN = 4.9V	2147B <sub>H</sub> 或 - 125829 <sub>10</sub>

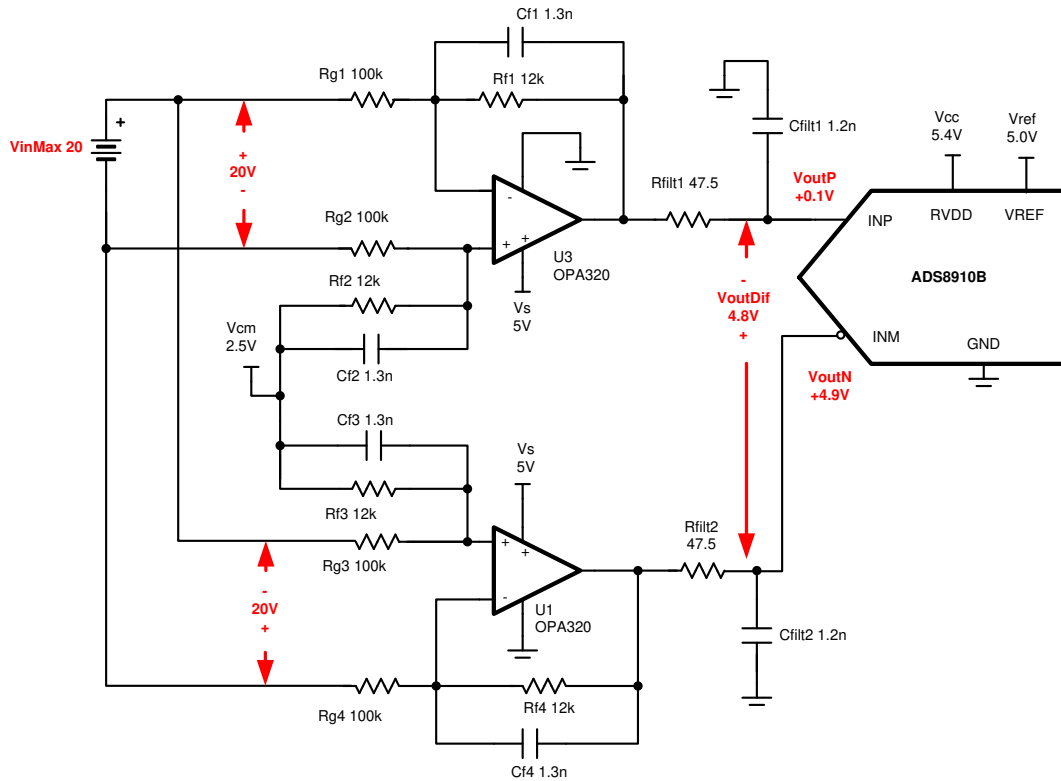
### 电源

Vcc	Vee	Vref	Vcm
5.3V	0V	5V	2.5V

### 设计说明

本设计可将 ±20V 的双极性输入信号转换为 ±4.8V 的全差分 ADC 差分输入量程，该量程值在放大器的输出线性运行范围内。您可以调整“元件选择”部分的值以允许不同的输入电压电平。

该电路实施方案适用于需要精确测量电压的应用，例如电池维护系统、电池分析仪、[电芯化成和测试设备](#)、[ATE](#) 以及无线基站中的远程无线单元 (RRU)。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

## 规格

规格	计算值	仿真值	测得值
瞬态 ADC 输入趋稳	< 0.5LSB 或 19 $\mu$ V	6.6 $\mu$ V	不适用
噪声	20.7 $\mu$ Vrms	20.65 $\mu$ Vrms	30.8 $\mu$ Vrms
带宽	10.2kHz	10.4kHz	10.4kHz

## 设计说明

- 根据共模、输出摆幅和线性开环增益规格，确定运算放大器的线性范围。“元件选择”部分中介绍了该内容。
- 对于信号路径中的电容器，请选择 COG 类型，以最大限度地减少失真。在本电路中，Cf1、Cf2、Cf3、Cf4、Cfilt1 和 Cfilt2 均需为 COG 类型。
- 使用 0.1% 20ppm/°C 或更高规格的薄膜电阻器以实现良好的增益漂移并最大限度地减少失真。
- 高精度实验室视频系列介绍了进行误差分析的方法。请查看 [误差分析背后的统计数据](#)，以了解最大限度减少增益、失调电压、漂移及噪声误差的方法。
- [TI 精密实验室 - ADC](#) 培训视频系列介绍了选择电荷桶电路 R<sub>filt</sub> 和 C<sub>filt</sub> 的方法。此类元件值取决于放大器带宽、数据转换器采样速率以及数据转换器设计。此处展示的值将能够为本例中的放大器、增益设置和数据转换器提供良好的趋稳和交流性能。如果修改了设计，请选择其他 RC 滤波器。请参阅 [SAR ADC 前端元件选择简介](#)，了解如何选择 RC 滤波器以实现最佳的趋稳和交流性能。

## 元件选型

- 本电路的一般方程式。

$$V_{\text{outMinOpa}} = \frac{V_{\text{outDifMin}}}{2} + V_{\text{cm}}$$

$$V_{\text{outMaxOpa}} = \frac{V_{\text{outDifMax}}}{2} + V_{\text{cm}}$$

$$V_{\text{outDif}} = V_{\text{inDif}} \times \text{Gain}_{\text{dif}}$$

$$\text{Gain}_{\text{dif}} = 2 \times \frac{R_f}{R_g}$$

- 查找运算放大器线性运行的最大和最小输出。

$$-0.1 \text{ V} < V_{\text{cm}} < 5.1 \text{ V} \quad \text{from OPA320 } V_{\text{cm}} \text{ specification}$$

$$0.035 \text{ V} < V_{\text{out}} < 4.965 \text{ V} \quad \text{from OPA320 } V_{\text{out}} \text{ swing specification}$$

$$0.1 \text{ V} < V_{\text{out}} < 4.9 \text{ V} \quad \text{from OPA320 } A_{\text{ol}} \text{ specification for linear operation}$$

$$0.1 \text{ V} < V_{\text{out}} < 4.9 \text{ V} \quad \text{Combined worst case}$$

- 整理第 1 部分的方程式，求解 V<sub>outDifMin</sub> 和 V<sub>outDifMax</sub>。基于第 2 步中的综合最坏情形找出最大和最小差分输出电压。

$$V_{\text{outDifMax}} = 2 \times V_{\text{outMaxOpa}} - 2 \times V_{\text{cm}} = 2 \times (4.9 \text{ V}) - 2 \times (2.5 \text{ V}) = 4.8 \text{ V}$$

$$V_{\text{outDifMin}} = 2 \times V_{\text{outMinOpa}} - 2 \times V_{\text{cm}} = 2 \times (0.1 \text{ V}) - 2 \times (2.5 \text{ V}) = -4.8 \text{ V}$$

- 根据第 3 步的结果找出差分增益。

$$\text{Gain} = \frac{V_{\text{outDifMax}} - V_{\text{outDifMin}}}{V_{\text{inDifMax}} - V_{\text{inDifMin}}} = \frac{(4.8 \text{ V}) - (-4.8 \text{ V})}{(20 \text{ V}) - (-20 \text{ V})} = 0.24$$

- 确定用于实现差分增益的标准电阻器值。通过 [模拟工程师计算器](#) (“放大器和比较器\查找放大器增益”部分) 找出 R<sub>f</sub>/R<sub>g</sub> 比率的标准值。

$$\frac{Gain_{dif}}{2} = \frac{R_f}{R_g} = \frac{0.24}{2} = 0.12$$

$$\frac{R_f}{R_g} = 0.12 = \frac{12 \text{ k}\Omega}{100 \text{ k}\Omega} = 0.12$$

6. 找出截止频率  $C_f$ 。

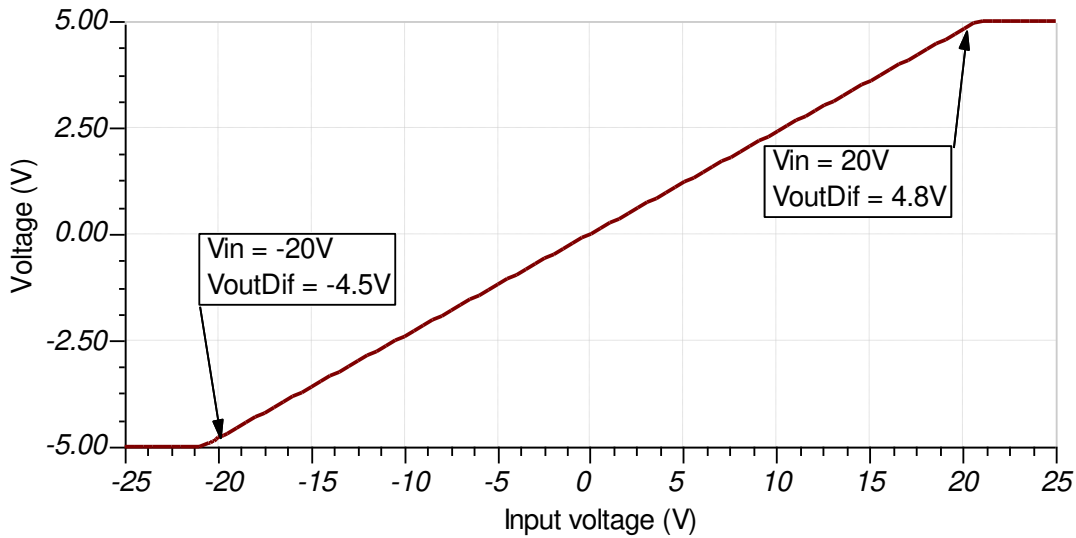
$$f = \frac{1}{2 \times \pi \times C_f \times R_f} = \frac{1}{2 \times \pi \times (1.3 \text{ nF}) \times (12 \text{ k}\Omega)} = 10.2 \text{ kHz}$$

$$C_f = \frac{1}{2 \times \pi \times f_c \times R_f} = \frac{1}{2 \times \pi \times (10 \text{ kHz}) \times (12 \text{ k}\Omega)} = 1.326 \text{ nF or } 1.3 \text{ nF for standard value}$$

$$f = \frac{1}{2 \times \pi \times C_f \times R_f} = \frac{1}{2 \times \pi \times (1.3 \text{ nF}) \times (12 \text{ k}\Omega)} = 10.2 \text{ kHz}$$

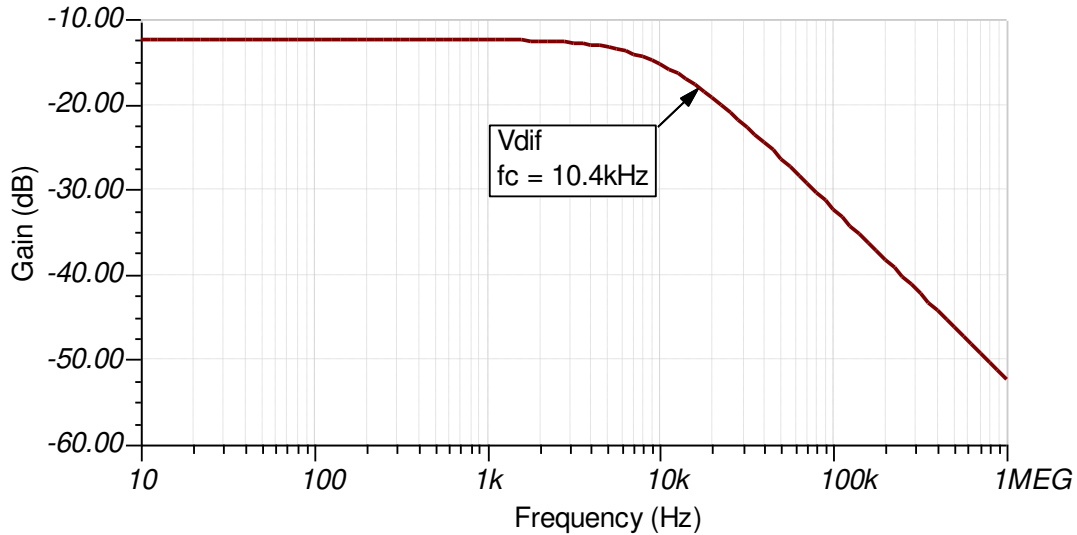
### 直流传输特性

下图展示了  $-20\text{V}$  至  $+20\text{V}$  输入的线性输出响应。请参阅 [使用仪表放大器时确定 SAR ADC 的线性范围](#)，了解有关该主题的理论。



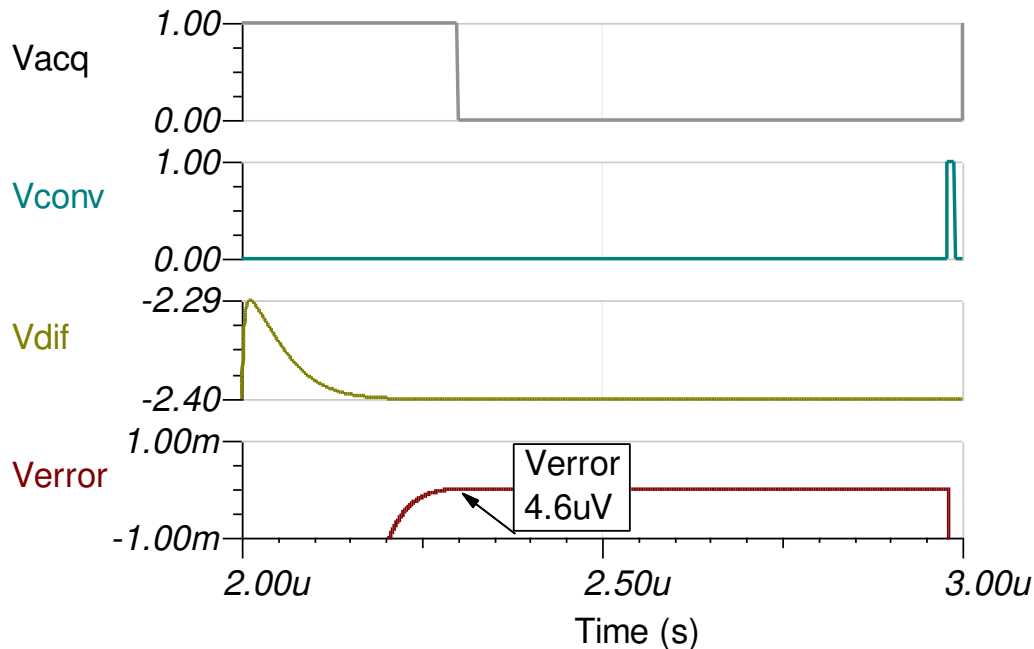
### 交流传输特性

带宽被仿真为  $10.4\text{kHz}$ ，增益为  $-12.4\text{dB}$ （线性增益为  $0.12$ ）。请参阅 [运算放大器：带宽 1](#)，了解有关此主题的更多详细信息。



### 瞬态 ADC 输入稳定仿真

以下仿真显示了趋稳至  $-20\text{V}$  直流输入信号的情况。该类型的仿真表明已正确选择采样保持反冲电路。请参阅 [SAR ADC 前端元件选择简介](#)，了解有关此主题的详细理论。



### 噪声仿真

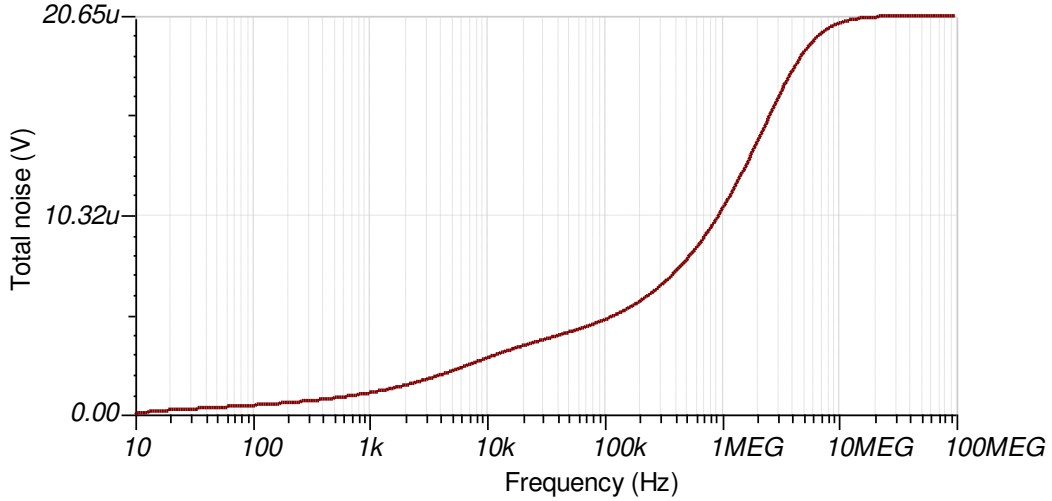
以下简化噪声计算方法用于进行粗略估算。我们在此计算中忽略电阻器噪声，因为在频率大于  $10\text{kHz}$  的情况下此噪声会衰减。

$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times R_{\text{filt}} \times C_{\text{filt}}} = \frac{1}{2 \times \pi \times (47.5\Omega) \times (1.2\text{nF})} = 2.8\text{MHz}$$

$$E_{n_{\text{se}}} = e_{n320} \times \sqrt{K_n \times f_c} = (7\text{nV} \div \sqrt{\text{Hz}}) \times \sqrt{(1.57) \times (2.8\text{MHz})} = 14.7\mu\text{Vrms} \quad \text{for a single ended input}$$

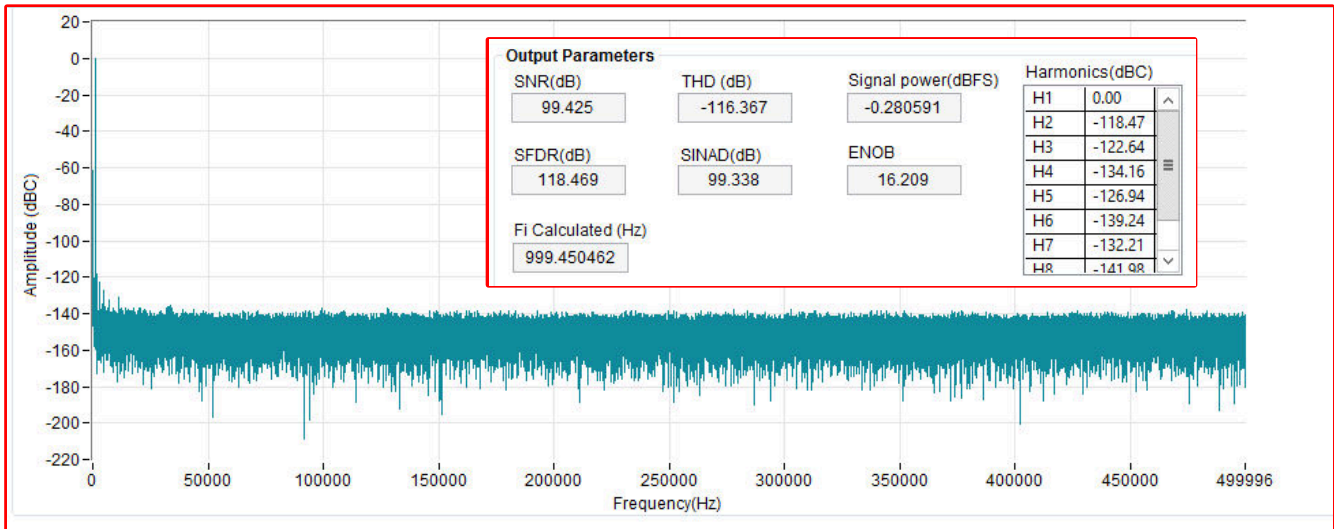
$$E_{n_{\text{tot}}} = \sqrt{E_{n_{\text{se}}}^2 + E_{n_{\text{se}}}^2} = \sqrt{(14.7\mu\text{V})^2 + (14.7\mu\text{V})^2} = 20.7\mu\text{V} \quad \text{rms} \quad \text{Total noise for differential amplifier}$$

注意，计算结果与仿真结果匹配良好。请参阅 [计算 ADC 系统的总噪声](#) 了解有关此主题的详细理论。



### 测量 FFT

该性能是在 ADS8910BEVM 的修改版本上测得的。交流性能表明 SNR = 99.4dB，THD = -116.4dB。有关此主题的更多详细信息，请参阅 [频域简介](#)。

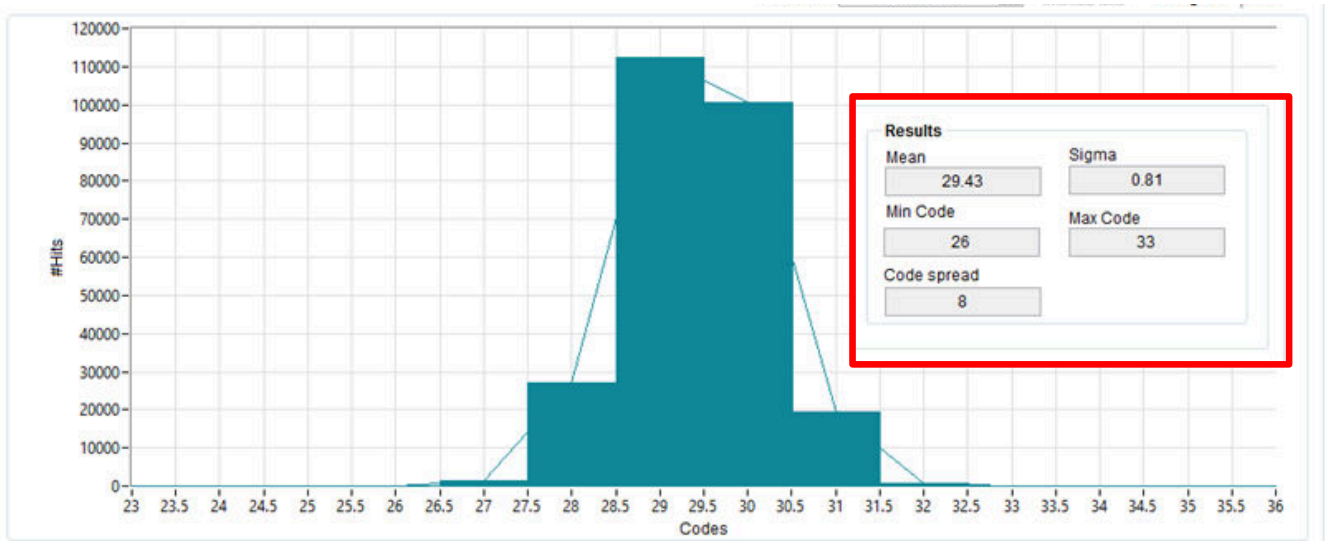


### 噪声测量

以下测量结果针对的是连接至接地的两个输入。直方图显示了系统的失调电压和噪声。代码中的标准偏差由 EVM GUI 给出 (0.81)，该值可用于计算 RMS 噪声 (30.9μV rms)，如以下方程式所示。

$$LSB = \frac{FSR}{2^N} = \frac{10 \text{ V}}{2^{18}} = 38.14\mu\text{V}$$

$$E_{n\_measured} = E_{n\Sigma} \times LSB = (0.81) \times (34.14 \mu\text{V}) = 30.9\mu\text{Vrms}$$



### 设计中采用的器件

器件	主要特性	链接	类似器件
ADS8900B <sup>(1)</sup>	18 位分辨率, 1Msps 采样速率, 集成基准缓冲器, 全差分输入, Vref 输入范围为 2.5V 至 5V。	具有内部 VREF 缓冲器、内部 LDO 和增强型 SPI 的 20 位 1MSPS 单通道 SAR ADC	精密 ADC
OPA320 <sup>(2)</sup>	20MHz 带宽, 轨到轨且零交越失真, VosMax = 150μV, VosDriftMax = 5uV/°C, en = 7nV/rtHz	零交叉、20MHz、0.9pA Ib、RRIO、CMOS 精密运算放大器	精密运算放大器 (Vos<1mV)
REF5050 <sup>(3)</sup>	3ppm/°C 漂移、0.05% 初始精度、4μVpp/V 噪声	5V、3μVpp/V 噪声、3ppm/°C 温漂精密串联电压基准	电压基准

- (1) REF5050 可直接连接到 ADS8910B, 无需任何缓冲器, 因为 ADS8910B 具有内置的内部基准缓冲器。此外, REF5050 具有精密 SAR ADC 应用所需的低噪声和漂移。OPA320 还常用于 1Msps SAR 应用, 因为它有足够的带宽使 ADC 输入采样产生的电荷反冲瞬态趋稳。此外, 零交越失真轨到轨输入可支持在大部分 ADC 输入范围内实现线性摆动。
- (2) REF5050 可直接连接到 ADS8910B, 无需任何缓冲器, 因为 ADS8910B 具有内置的内部基准缓冲器。此外, REF5050 具有精密 SAR ADC 应用所需的低噪声和漂移。OPA320 还常用于 1Msps SAR 应用, 因为它具有足够的带宽。
- (3) REF5050 可直接连接到 ADS8910B, 无需任何缓冲器, 因为 ADS8910B 具有内置的内部基准缓冲器。此外, REF5050 具有精密 SAR ADC 应用所需的低噪声和漂移。OPA320 还常用于 1Msps SAR 应用, 因为它具有足够的带宽。

### 高电压电池监控器主要文件链接

德州仪器 (TI), [SBAC171 设计文件](#), 软件支持

### 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 A (January 2019) to Revision B (September 2024) Page

- 通篇更新了表格、图和交叉参考的格式..... 1

#### Changes from Revision \* (December 2017) to Revision A (January 2019) Page

- 缩短了标题, 更新了标题角色内容, 添加了电路指导手册库页面的链接..... 1

### 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司