

Application Note

精密串联基准中的噪声测量技术



Mahadev G, Trailokya Rai

摘要

本应用手册介绍了针对精密串联基准的低闪烁噪声 (0.1Hz 至 10Hz 频带) 测量方法和测试设置建议。低噪声测量需要超低设置噪声, 这可以通过为带通滤波器选择低噪声 BOM 以及适当的设计或布局技术来实现。超低噪声基准 REF54250CDR (闪烁噪声 = 275nV 峰峰值, NR 引脚上有 100 μ F 电容器) 用于说明元件选型和电路板设计, 以便以小于 1.5% 的误差测量测量设置中的本底噪声。

内容

1 简介.....	2
2 闪烁噪声测量方法.....	2
3 适用于基准噪声测量的 0.1Hz 至 10Hz 带通滤波器设计.....	3
3.1 滤波器原理图.....	4
3.2 TINA - TI 仿真.....	5
3.3 元件选型.....	5
4 测量设置.....	6
4.1 REF54250CDR 噪声测量设置.....	6
5 滤波器板设计.....	8
5.1 原理图.....	8
5.2 布局.....	11
5.3 物料清单.....	12
6 参考资料.....	16

插图清单

图 3-1. 闪烁噪声测试设置方框图.....	3
图 3-2. TINA-TI 中的滤波器原理图.....	4
图 3-3. 带通滤波器的频率响应.....	5
图 4-1. 用于噪声滤波器的金属盒, 可避免外部干扰.....	6
图 4-2. 滤波器板的典型本底噪声.....	6
图 4-3. REF54250 噪声测量设置.....	7
图 4-4. NR 引脚上具有 100 μ F 电容器的 REF54250 噪声图.....	7
图 4-5. 0.1Hz 至 10Hz 电压噪声 (C_{NR} = 开路).....	8
图 4-6. 0.1Hz 至 10Hz 电压噪声 (C_{NR} = 100 μ F).....	8
图 5-1. 滤波器的功率级.....	9
图 5-2. 0.1Hz 至 10Hz 带通滤波器实现方案.....	10
图 5-3. 顶层 - 关键信号.....	11
图 5-4. 第二层 - GND.....	11
图 5-5. 第三层 - 电源平面.....	11
图 5-6. 底层.....	11

表格清单

表 5-1. 物料清单.....	12
------------------	----

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

基准的噪声与数据转换器的量化误差相耦合，并影响整个信号链的分辨率。设计人员必须将基准噪声保持足够小，使其不影响信号链的分辨率。这对于医疗成像、用于化学和制药实验室的精密称重秤、地震测量设备以及系统 ENOB 大于或等于 20 位的高精度测试和测量设备等高精度系统至关重要。这些系统通常使用有源滤波器来滤除高频热噪声；但是，由于电容器要求高且响应速度慢，设计截止频率低于 10Hz 的低通滤波器不切实际。因此，这些应用选择具有更合适的闪烁噪声的基准来满足信号链要求。准确的测量至关重要，因此，设计人员不必限制于过度设计精密信号链器件和实现更快的系统响应。

2 闪烁噪声测量方法

电压基准数据表指定了在 10 秒内以峰峰值变化为单位的 0.1Hz 至 10Hz 频带闪烁噪声。一种简单的方法是在 DMM 上测量该噪声并持续 10 秒，平均时间为 100ms (1/10Hz)，以捕获峰峰值响应。基准信号的峰峰值噪声与 DMM 信号链噪声耦合 (在 TI 实验室针对 HP3458A 在 10V 范围内测得的噪声约为 $0.5 \mu\text{V}$)。这种方法 SNR 不足以满足超低噪声、高精度基准的要求，例如 REF7012 在 10 秒内的闪烁噪声 = 312nV 峰峰值，或者 REF54250CDR 在 NR 引脚上具有 100uF 的电容器时的噪声为 275nV 峰峰值 (0.11ppm_{pp})，因为 DMM 的信号链噪声大于器件噪声。

前置放大基准噪声，以改善测量设置的 SNR。这需要消除直流并为噪声信号提供足够的增益，如图 3-1 所示。节 3 讨论了测量具有高 SNR 的闪烁噪声的滤波器设计。

3 适用于基准噪声测量的 0.1Hz 至 10Hz 带通滤波器设计

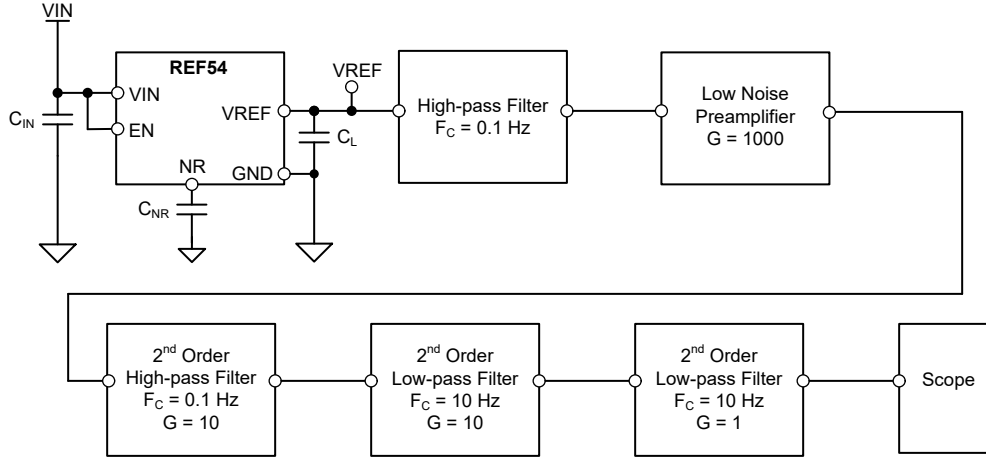


图 3-1. 闪烁噪声测试设置方框图

REF54250 的最小噪声规格为 400nVpk-pk。为了使测量误差小于 1.5%，请按照以下公式计算允许的最大设置噪声：

$$\text{Setup Noise} < = 275 \times \sqrt{(1.015^2 - 1^2)} < = 47 \text{ nV}_{pk-pk} \quad (1)$$

第一级高通滤波器的电阻器和第一级前置放大器噪声（称为设置噪声）直接耦合到基准噪声信号。因此，这两个因素是总设置噪声预算中的主要误差源。参考噪声在第一级中被放大 1000 倍，因此后续级设置噪声的影响极小。因此，我们将超过 98% 的预算分配给这一级。高通滤波器设计有一个 50 Ω 电阻器，这样可以尽可能降低该电阻器产生的 kT 噪声。

$$\text{Flicker noise of } 50 \Omega \text{ high pass resistor } (n_{50 \Omega}) = 18.92 \text{ nV}_{pk-pk} \quad (2)$$

下一步是设计一个增益为 1000 的低噪声前置放大器，它可以满足第一级运算放大器噪声的目标规格。在 TI 的超低噪声和失调电压运算放大器产品系列中，OPA189 是理想选择。我们需要并联 8 个运算放大器，才能轻松实现 << 56nVpk-pk 的目标规格。

$$\text{Opamp FlickerNoise}(n_{opa}) = \frac{100 \text{ nV}_{pk-pk}}{\sqrt{8}} = 35.35 \text{ nV}_{pk-pk} \quad (3)$$

1000 的增益是通过 10 Ω 和 10K Ω 电阻实现的。这在噪声贡献中等于 10 Ω。10 Ω 电阻器的噪声贡献除以 √8 倍。

$$\text{Flicker noise of } 10 \Omega \text{ gain resistor } (n_{10 \Omega}) = 3 \text{ nV}_{pk-pk} \quad (4)$$

第一级产生的总噪声是公式 1、2 和 3 的 RMS 和。

$$\text{Noise floor of first stage } (n_{\text{First}}) = \sqrt{(n_{opa}^2 + n_{50 \Omega}^2 + n_{10 \Omega}^2)} = 40.3 \text{ nV}_{pk-pk} \quad (5)$$

在此计算中，运算放大器的电流噪声会被忽略，因为其影响微不足道（电流噪声密度 = 165fA/√Hz）。后级噪声的影响被除以 1000 或更大数字。因此，影响并不显著。该电路在 REF54250CDR 噪声测量中的误差不足 1.5%。

第二级是 0.1Hz 的 Sallen-Key 高通滤波器，增益为 10，阻尼比为 1，在 0.1Hz 高通时提供 60dB 的总滚降。接下来的两级是一个多反馈 10Hz 低通滤波器，其总增益为 10，可在 10Hz 时提供 80dB 的滚降，如图 3-3 所示。噪声获得 10⁵ 次增益，并在 10 秒窗口内以每秒 >> 20 个样本的频率在示波器上捕获，以避免出现混叠。

3.1 滤波器原理图

该带通滤波器已通过 TI-TINA 进行仿真，以验证频率响应。

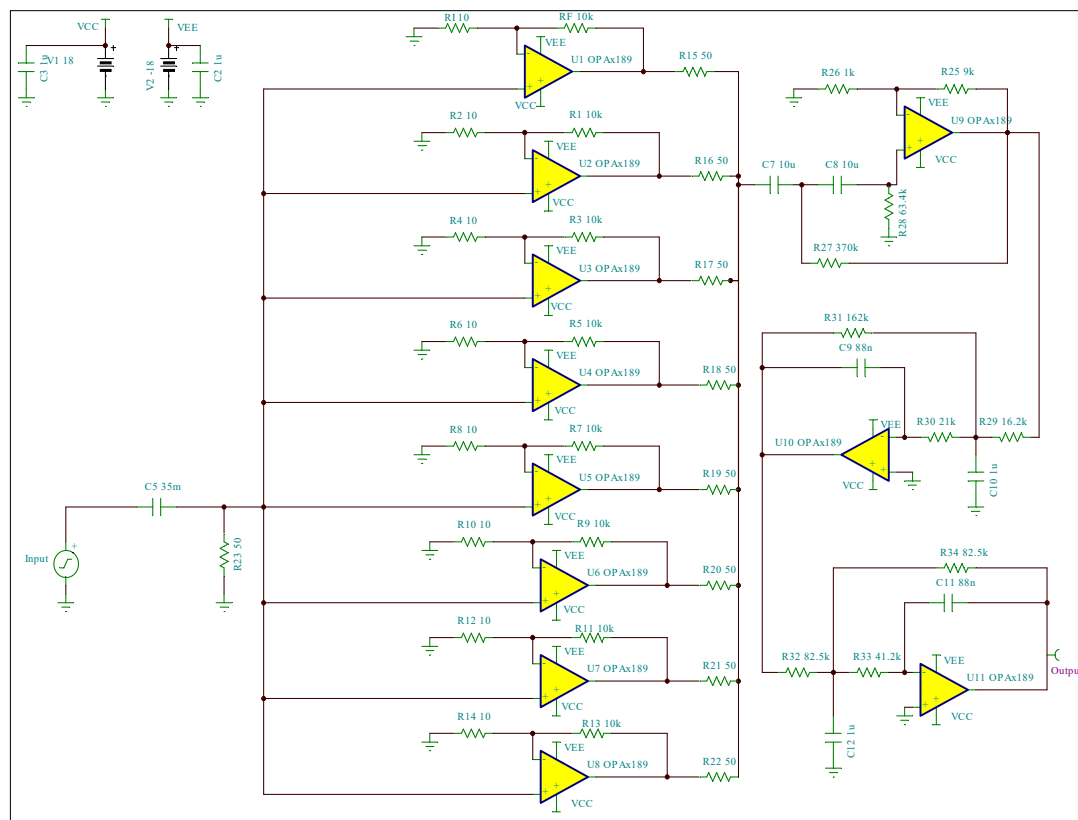


图 3-2. TINA-TI 中的滤波器原理图

3.2 TINA - TI 仿真

此滤波器设计具有阻尼因子 1、截止频率下限为 0.1Hz、滚降为 60dB/十倍频程、截止频率上限为 10Hz、滚降为 80dB/十倍频程。通带增益为 100dB。

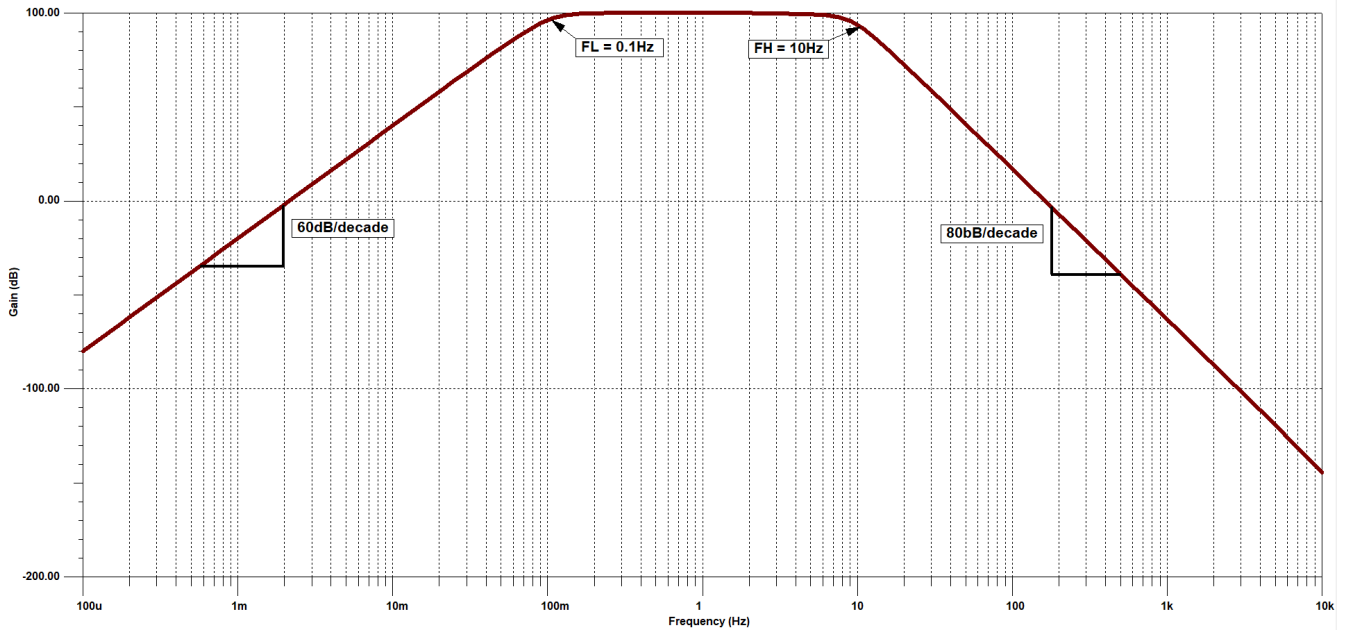


图 3-3. 带通滤波器的频率响应

3.3 元件选型

- 第一级高通滤波器：**第一级高通滤波器的电阻器噪声至关重要，因为该噪声与基准噪声直接耦合。设计第一级高通滤波器时选用了阻值较小（50 欧姆）的电阻器和大容量电容器（32mF），以最大限度降低电阻器的热噪声。为第一级 0.1Hz 高通滤波器选择了 Vishay 大容量金属箔电阻器，因为该电阻器的构造让其具有出色的噪声系数。两个 100 Ω 大容量金属箔电阻器（0.25W）并联在一起，以降低电流（过量、闪烁）噪声的影响，因为可以通过减小电流和增大电阻材料的体积来降低该噪声。使用了四个低泄漏电解质电容器来实现 32mF 电容，并在整个频率范围内实现稳定的电容。这些大容量电容器需要至少 12 个小时的电介质浸泡时间才能提供稳定的测量。第一级增益电阻器是金属箔电阻器，因为这些电阻器具有出色的噪声性能。八个 OPA189 通过 50 欧姆金属膜电阻器并联，可将噪声降低 $\sqrt{8}$ 倍。
- 后续级：**第一级高通滤波器后跟一个增益为 10 的 Sallen-Key 0.1Hz HPF，以及总增益为 10、截止频率为 10Hz 的 2 级多反馈低通滤波器。此信号已经被放大 1000 倍，这可在后续级的元件选择中实现弛豫。在后续级，电阻较高且电容较低，因为电阻器的热噪声已被抑制 100 倍或更高。有关确切值，请参阅表 5-1。所有电容器都是薄膜电容器，因为老化规格严格，且滤波器的属性不会随时间变化。此级中的所有电阻器都是金属膜，因为此类电阻器具有出色的热噪声特性。由于具有超低噪声和失调电压稳定性，OPA189 已用于所有级。
- 功率级：**此测量使用直流电源 E3631。然后通过 LC 滤波器馈送至低噪声 LDO，从而获得具有良好 PSRR 测量的稳定电源。此拓扑可确保电源对测得的基准噪声的影响极小。

4 测量设置

滤波器板放置在金属盒中，以避免产生 EMI。所有承载 VREF 或噪声的电缆均为屏蔽电缆。

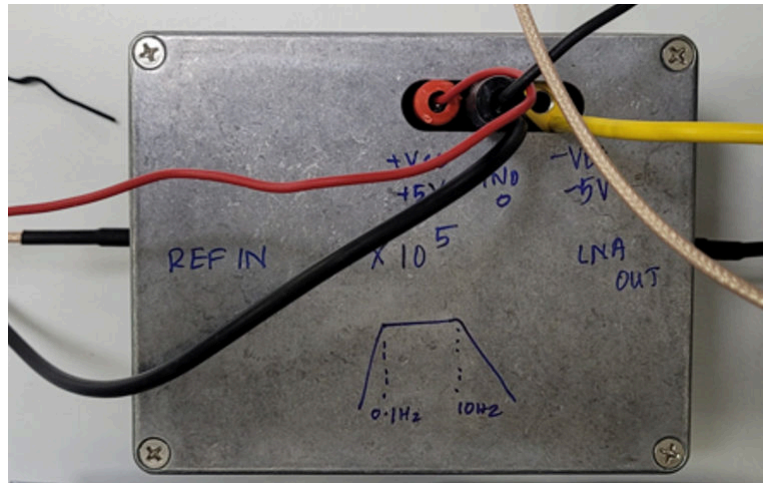


图 4-1. 用于噪声滤波器的金属盒，可避免外部干扰

输出端使用 $50\ \Omega$ 进行端接，我们将设置保持 12 小时以测量本底噪声。此电路板的典型本底噪声为 40nV (峰峰值)，这会在最低噪声测量中引入 $<1.5\%$ 的误差。



图 4-2. 滤波器板的典型本底噪声

4.1 REF54250CDR 噪声测量设置

REF54250CDR 的输出与滤波器板相连，两者都放在射频室内的法拉第笼中，如图 4-3 所示。射频室可消除回波，从而避免了任何周围干扰的耦合。低 PSRR 电源 E3631 用于为 REF54250CDR 和噪声电路板供电。噪声测量是在 NR 引脚上连接一个 $100\ \mu\text{F}$ 电容器而 NR 引脚上没有连接电容器的情况下完成的。在示波器上捕获时域图，采样频率 = 每秒 100k 个样本 ($>>$ 每秒 20 个样本) 持续 10 秒，以捕获 0.1Hz 至 10Hz 对峰峰值噪声的影响

使用示波器来分析高密度的时域图。如果用户希望测量峰峰值噪声，则 8.5 位 DMM 是更好的替代选择，因为 DMM 具有更好的 ADC 分辨率，并且具有差分探测选项，以杜绝任何发生示波器接地噪声注入的可能性。用户可以在 10 秒内以每秒 100 个样本的方式记录该值，并获得峰峰值变化。

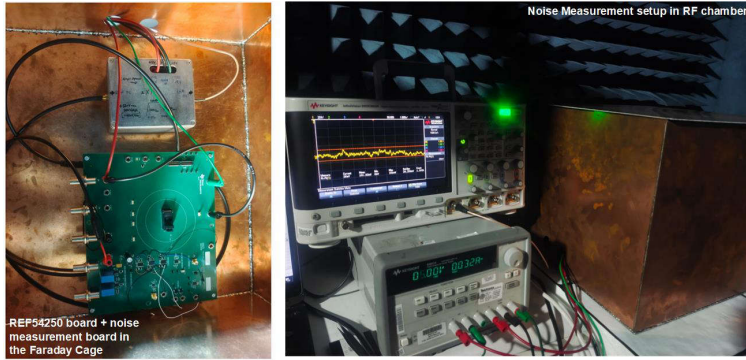


图 4-3. REF54250 噪声测量设置

图 4-4 显示了 REF54250CDR 在 NR 引脚上带有 100 μ F 电容器的典型测量图。

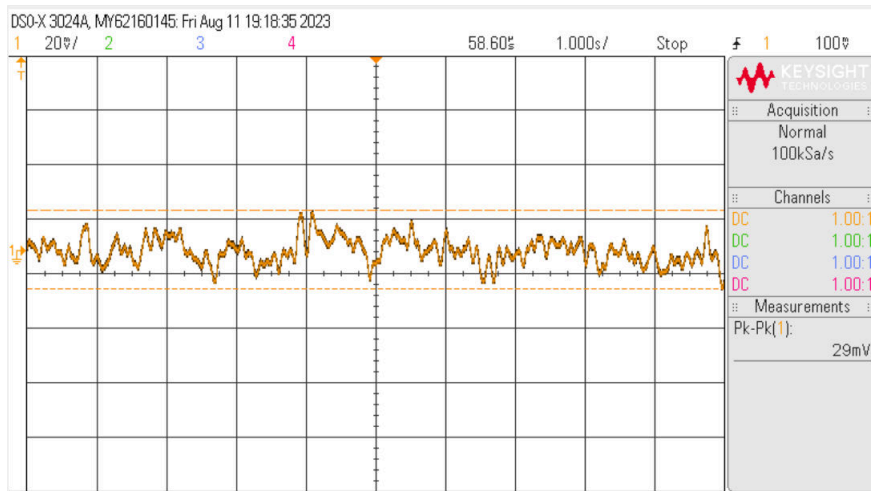


图 4-4. NR 引脚上具有 100 μ F 电容器的 REF54250 噪声图

带有 $100\ \mu\text{F}$ NR 引脚电容器的 REF54250CDR 的典型闪烁噪声测量结果为 275nV 峰峰值 (0.11ppm_{pp})。来自滤波器板的 40nV 峰间噪声会在噪声测量中引入 1.5% 的误差。REF54250CDR 在 NR 引脚开路条件下具有 $1.125\ \mu\text{V}$ 峰峰值 (0.45ppm 峰峰值) 闪烁噪声，与设置噪声的误差小于 0.1%。

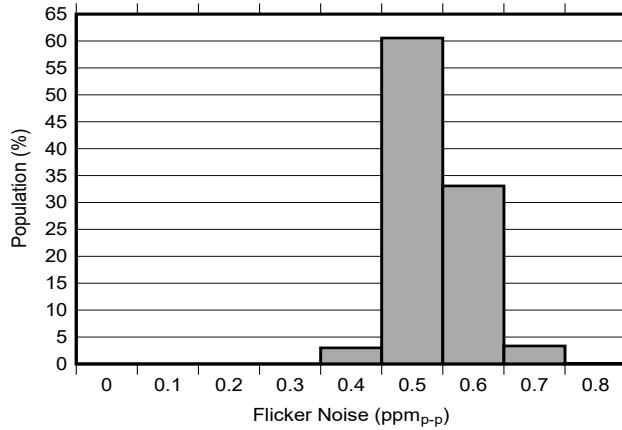


图 4-5. 0.1Hz 至 10Hz 电压噪声 ($C_{NR} = \text{开路}$)

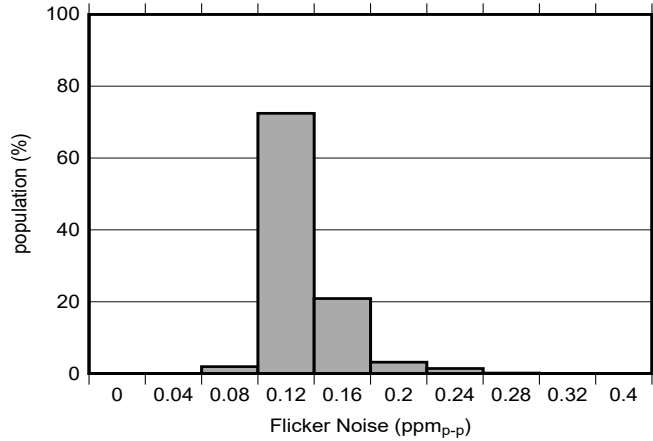


图 4-6. 0.1Hz 至 10Hz 电压噪声 ($C_{NR} = 100\ \mu\text{F}$)

5 滤波器板设计

5.1 原理图

运算放大器所需的 VCC (+ve 电源) 和 VEE (-ve 电源) 连接在香蕉插孔 J2、J3 和 J4 处。它流经 π 型滤波器及低噪声 LDO TPS7A47 (+12V) 和 TPS7A3301RGWT (-12V)，如图 5-1 所示，为用于滤波器的运算放大器提供无噪声供电。

TPS7A47 和 TPS7A33 为高准确度和高精度仪器仪表应用而设计。在此类应用中，干净的电压轨对于更大程度地提高系统性能至关重要。对于需要正负高性能电源轨的应用，请考虑使用这些高压、超低噪声和低压降线性稳压器。

5.1.1 原理图图像

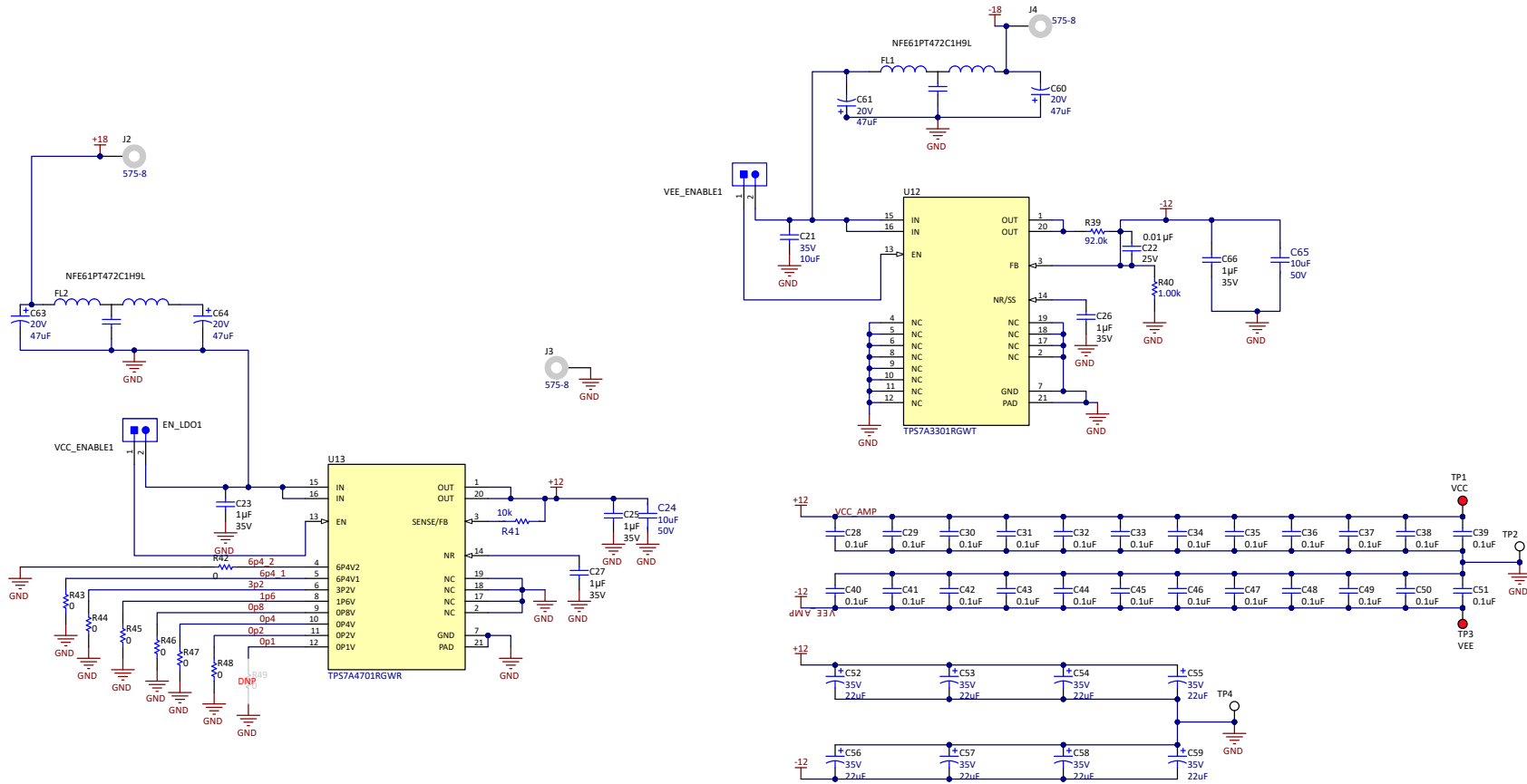


图 5-1. 滤波器的功率级

图 5-2 显示了节 3.2 中所讨论的 0.1Hz 至 10Hz 带通滤波器的原理图。

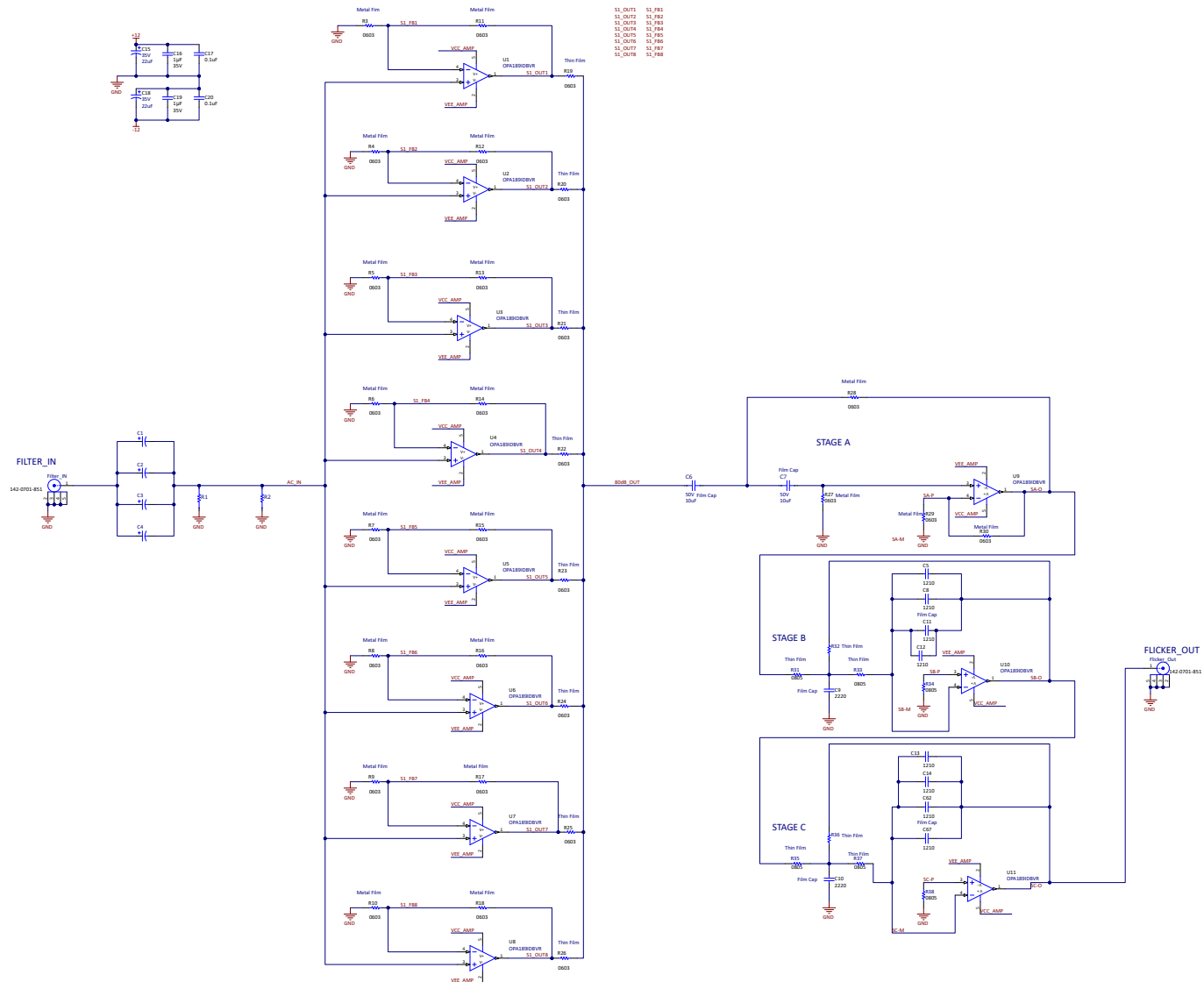


图 5-2. 0.1Hz 至 10Hz 带通滤波器实现方案

5.2 布局

这是一个四层电路板。如图 5-3 所示，所有关键信号都在顶层布线。功率级和 0.1Hz 至 10Hz 带通滤波器单独进行 EMI 屏蔽。带通滤波器和功率级的接地端仅连接在一个位置，以验证任何电源噪声（接地返回路径）不会与滤波器级中的关键信号耦合。关键信号经过接地屏蔽。输入和输出均采用 SMA 连接器，以避免 EMI 的影响。第一级中并联运算放大器的所有信号都以对称方式布线，以避免它们之间出现任何不匹配。第二层（图 5-4）是用于去耦的完整 GND 层。电源信号在所有运算放大器的第三层（图 5-5）中路由。第一级 0.1Hz 高通滤波器中四个大电解电容的两个被放置在底层（图 5-6）以节省空间。底层屏蔽区域的各个角落都有低频旁路电容器。

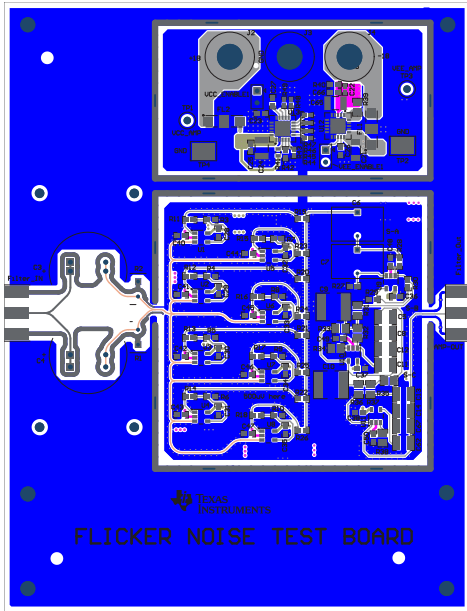


图 5-3. 顶层 - 关键信号

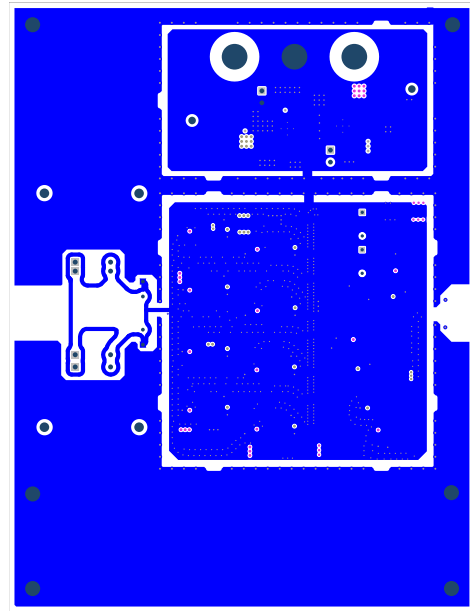


图 5-4. 第二层 - GND

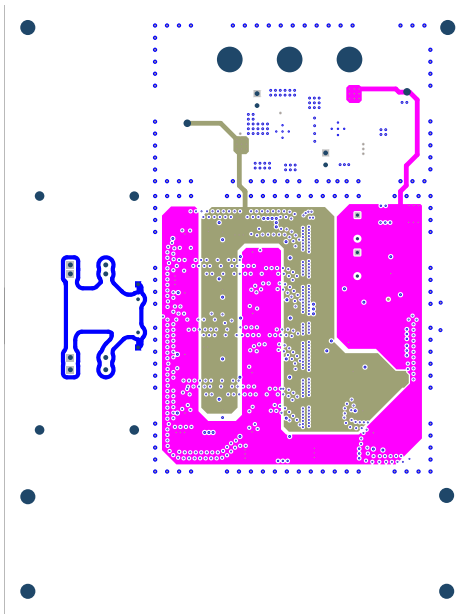


图 5-5. 第三层 - 电源平面

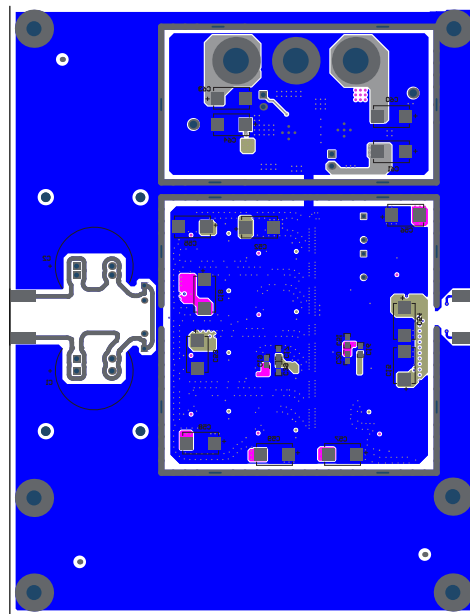


图 5-6. 底层

5.3 物料清单

表 5-1. 物料清单

位号	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
IPCB1	1		印刷电路板		XXX###	不限
C1、C2、C3、C4	4	8200 μ F	电容, 铝制, 8200 μ F, 16V, \pm 20%, TH	D16 x L35.5mm	EKY160ELL822MM P1S	Chemi-Con
C5、C8、C11、C12、C13、C14、C62、C67	8	0.022 μ F	电容, 薄膜, 0.022 μ F 5%, 50VDC, 1210	1210		
C6、C7	2	10 μ F	10 μ F 薄膜电容器 30V 50V 聚酯, 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET), 金属化 径向	径向	MKS2B051001N00J SSD	WIMA
C9、C10	2	1 μ F	电容, 薄膜, 1 μ F 5%, 63VDC, 2220	2220	LDEDD4100JA0N00	
C15、C18、C52、C53、C54、C55、C56、C57、C58、C59、	10	22 μ F	电容, 钽, 22 μ F, 35V, \pm 10%, 0.275 Ω , SMD	7343-43	T495X226K035ATE 275	Kemet
C16、C19、C23、C25、C26、C27、C66	7	1 μ F	电容, 陶瓷, 1 μ F, 35V, \pm 10%, X7R, 0603	0603	C1608X7R1V105K0 80AC	TDK
C17、C20、C28、C29、C30、C31、C32、C33、C34、C35、C36、C37、C38、C39、C40、C41、C42、C43、C44、C45、C46、C47、C48、C49、C50、C51	36	0.1 μ F	电容, 陶瓷, 0.1 μ F, 50V, \pm 10%, X7R, 0603	0603	GRM188R71H104K A93D	MuRata
C21	1	10 μ F	电容, 陶瓷, 10 μ F, 35V, \pm 10%, X7R, 1206_190	1206_190	GMK316AB7106KL-TR	Taiyo Yuden
C22	1	0.01 μ F	电容, 陶瓷, 0.01 μ F, 25V, \pm 10%, X7R, 0402	0402	CL05B103KA5NNN C	Samsung Electro-Mechanics
C24、C65	2	10 μ F	10 μ F \pm 10% 50V 陶瓷电容器 X7R 1210 (公制 3225)	1210	UMK325AB7106KM HP	Taiyo Yuden
C60、C61、C63、C64	4	47 μ F	电容, 钽聚合物, 47 μ F, 20V, \pm 20%, 0.055 Ω , 7343-20 SMD	7343-20	20TQC47MYF	Panasonic
EN_LDO1	1		分流器, 2.54 mm, 金, 蓝色	分流器, 2.54mm, 蓝色	60900213621	Wurth Elektronik

表 5-1. 物料清单 (续)

位号	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
FID1、FID2、 FID3	4		基准标记。没有需要购买或安装的元件。	不适用	不适用	不适用
Filter_IN、 Flicker_Out	2		连接器，末端发射 SMA，50Ω，SMT	SMA 末端发射	142-0701-851	Cinch Connectivity
FL1、FL2	2	4700pF	滤波器 LC 高频 4700PF，2706	6.8mm x 1.6mm	NFE61PT472C1H9L	MuRata
H1、H2、H3、 H4、H5、H6	6		机械螺钉，圆头，#4-40 x 1/4，尼龙，飞利浦盘形头	螺钉	NY PMS 440 0025 PH	B&F Fastener Supply
H7、H8、H9、 H10、H11、H12	6		螺柱，螺纹，1.5"，4-40，铝	1/4 圆形内螺纹螺柱	3483	Keystone
J2、J3、J4	3		标准香蕉插头，非绝缘，8.9 mm	Keystone575-8	575-8	Keystone
R1、R2	2	100	超高精度电阻器，金属箔，100Ω，0.01% 大容量	径向	Y1073100R000T9L	Vishay Precision Group
R3、R4、R5、 R6、R7、R8、 R9、R10	8	10	10Ω ±0.5% 0.1W，1/10W 0603 金属膜	0603	RN73H1JTDD10R0 D25	KOA Speer Electronics, Inc.
R11、R12、 R13、R14、 R15、R16、 R17、R18	8	10kΩ	10kΩ ±0.5% 0.1W，1/10W 0603 金属膜	0603	RN73H1JTDD1002D 25	KOA Speer Electronics, Inc.
R19、R20、 R21、R22、 R23、R24、 R25、R26	8	49.9	49.9Ω ±0.5% 0.1W，1/10W，片式电阻器，0603，金属膜	0603	RN73H1JTDD49R9 D25	KOA Speer Electronics, Inc.
R27	1	63.4k	63.4kΩ ±0.5% 0.1W，0603 金属膜	0603	RN73H1JTDD6342D 25	KOA Speer Electronics, Inc.
R28	1	370kΩ	370kΩ ±1% 0603 金属膜	0603	RN73H1JTDD3703F 100	KOA Speer Electronics, Inc.
R29	1	100	电阻，100Ω，0.1%，1/10W，0603	0603	RN73H1JTDD1000B 25	KOA Speer Electronics, Inc.
R30	1	910	电阻 SMD 910Ω 0.1% 1/10W 0603	0603	ERA-3YEB911V	Panasonic Electronic Components
R31	1	16.2k	16.2kΩ ±0.1% 0.125W，1/8W 片式电阻器 0805 (2012 公制) 汽车 AEC-Q200，防潮薄膜	0805	RN73R2ATDD1622B 25	KOA Speer Electronics, Inc.
R32	1	162k	162kΩ ±0.1% 0.125W，1/8W 片式电阻器 0805 (2012 公制)，汽车 AEC-Q200，薄膜	0805	ERA-6AEB1623V	Panasonic Electronic Components
R33	1	21kΩ	21kΩ ±0.1% 0.125W，1/8W 片式电阻器，0805 (公制 2012)，薄膜	0805	RT0805BRD0721KL	YAGEO

表 5-1. 物料清单 (续)

位号	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
R34、R38	2	0	0Ω 跳线片上电阻 0805 (公制 2012), 汽车 AEC-Q200 厚膜	0805	RMCF0805ZT0R00	Stackpole Electronics Inc
R35、R36	2	82.5kΩ	82.5Ω ±0.1%, 0.125W, 1/8W, 片式电阻 0805 (公 制 2012), 汽车 AEC-Q200 薄膜	0805	ERA-6AEB8252V	Panasonic Electronic Components
R37	1	41.2kΩ	41.2kΩ ±0.1% 0.125W, 1/8W 片 式电阻器 0805 (2012 公制), 汽 车 AEC-Q200, 薄 膜	0805	ERA-6AEB4122V	Panasonic Electronic Components
R39	1	92.0KΩ	电阻, 92.0k, 0.1%, 0.125W, 0805	0805	RT0805BRD0792KL	Yageo America
R40	1	1.00k	电阻, 1.00k, 0.1%, 0.1W, 0603	0603	RT0603BRD071KL	Yageo America
R41	1	10k	10kΩ ±0.1% 0.1W, 1/10W 片式 电阻器 0603 (1608 公制), 汽 车 AEC-Q200, 薄 膜	0603	ERA-3AEB103V	Panasonic
R42	1	0	电阻, 0, 5%, 0.1W, 0603	0603	RC0603JR-070RL	Yageo
R43、R44、 R45、R46、 R47、R48	6	0	电阻, 0, 5%, 0.063W, AEC- Q200 0 级, 0402	0402	CRCW04020000Z0 ED	Vishay-Dale
TP1、TP3	2		测试点, 通用, 红 色, TH	红色多用途测试点	5010	Keystone
TP2、TP4	2		测试点, 紧凑型, SMT	Testpoint_Keysto ne_Compact	5016	Keystone
U1、U2、U3、 U4、U5、U6、 U7、U8、U9、 U10、U11	11		支持多路复用器的 14MHz、低噪声、 零漂移、RRO、 CMOS 精密运算放 大器, DBV0005A (SOT-23-5)	DBV0005A		德州仪器 (TI)
U12	1		输入电压 -3V 至 -36V、-1A、超低噪 声、高 PSRR、低 压降线性稳压器, RGW0020A (VQFN-20)	RGW0020A	TPS7A3301RGWT	德州仪器 (TI)
U13	1		采用 RGW0020A (VQFN-20) 封装的 36V、1A、 4.17 μVRMS、射 频低压降 (LDO) 稳 压器	RGW0020A	TPS7A4701RGWR	德州仪器 (TI)
VCC_ENABLE1 、VEE_ENABLE1	2		接头, 100mil, 2x1, 锡, TH	接头, 2 引脚, 100mil, 锡	PEC02SAAN	Sullins Connector Solutions

表 5-1. 物料清单 (续)

位号	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
R49	0	0	电阻, 0, 5%, 0.063W, AEC- Q200 0 级, 0402	0402	CRCW04020000Z0 ED	Vishay-Dale

6 参考资料

- 德州仪器 (TI) , [TI 精密设计：验证设计 0.1Hz 至 10Hz 噪声滤波器验证设计](#)。
- Vishay Precision Group , [Ultra High Precision, Z-Foil Audio Resistor Minimizes Noise and Distortion in the Signal Path with TCR of \$\pm 0.05\$ ppm/ \$^{\circ}\$ C, Tolerance to \$\pm 0.005\$ % and High Linearity or Low Voltage Coefficient of Resistance \(VCR\) of 0.1 ppm/V 文档](#)。
- 德州仪器 (TI) , [TPS7A33 - 36V、1A、超低噪声负电压稳压器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI) , [TPS7A4701RGWR 产品](#)。
- 德州仪器 (TI) , [OPAx189 精密、低噪声 36V 零漂移 14MHz 多路复用器友好型轨到轨输出运算放大器](#)

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