

# 放大器的电源电阻和噪声考虑因素

作者: Jorge Vega, 德州仪器 (TI)

数据分析工程师

## 引言

在许多应用中, 低噪声设计至关重要。各种传感器、滤波器和音频设计都是需要优秀低噪声设计的常见例子。这些应用可以建模成同信号源串联的电源电阻。该电源电阻具有热噪声, 并且将电流噪声转换成电压噪声, 从而增加放大器的总输出电压噪声。

在对某个电源电阻建模时, 一个常见问题是如何选择一个能够最小化总输出电压噪声的放大器。这个问题很重要, 因为我们使用双极或者 CMOS 技术制造放大器。双极放大器会有巨大的电流噪声, 但在特定静态电流情况下其电压噪声比 CMOS 放大器要低。当电源电阻较高时, 电流噪声成为最大的问题。本文将说明, 当使用高电源电阻并且噪声是唯一的问题时, 为什么一个 CMOS 放大器才是我们最好的选择。了

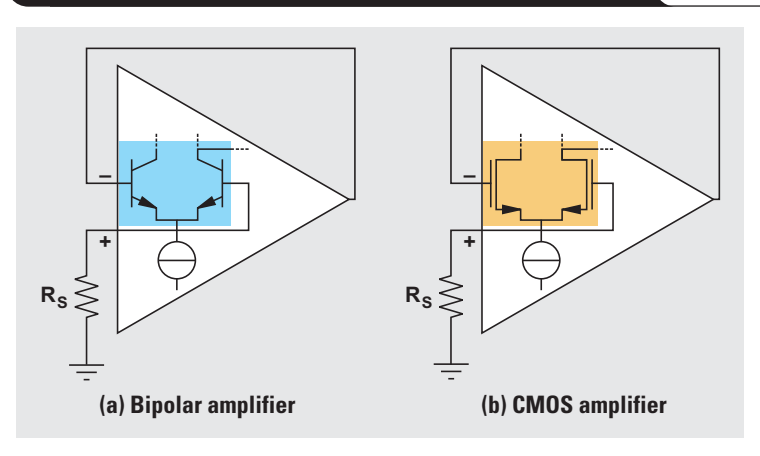
解这些因素, 并知道放大器的电压噪声规范以后, 可以帮助您做出正确的选择。为了进行这项分析工作, 我们假设双极和 CMOS 放大器都有兼容带宽、功率和固有电压噪声。另外, 我们还研究了这两种放大器各自存在的优缺点。

图 1 显示了缓冲器配置中的所有放大器, 建模电源电阻连接至正输入和接地。我们同时需要考虑建模电源电阻、输入参考电压噪声和输入参考电流噪声对于噪声形成的影响程度。这些模型作为参考例子, 用于分析和比较低噪声应用的放大器噪声性能, 而这种应用中噪声是唯一的有效参数。

## 总电压噪声贡献

选择最佳放大器的关键是, 理解放大器的电流噪声、电压噪声和电阻器热噪声如何共同形成总输出电压噪声。根据电源电阻的大小, 有时候低电流噪声为关键规格。在其他时候, 低电压噪声为关键规格。为了更好地理解这一点, 设计人员需要知道放大器的总电压噪声密度, 其可由下列均方根 (RMS) 运算得到<sup>1</sup>:

图 1 电源电阻连接正输入和接地的缓冲器配置放大器



$$E_O = \sqrt{(e_N)^2 + (i_N \times R_S)^2 + (4K_B T R_S)} \quad (1)$$

在方程式 1 中,  $E_O$  为放大器输出端的总电压噪声密度。  $e_N$  和  $i_N$  分别为放大器的电压和电流噪声密度。  $R_S$  为连接至正输入的电源电阻。  $K_B$  为波尔兹曼 (Boltzman) 常量, 其等于  $1.38 \times 10^{-23}$  J/K, 而  $T$  为开尔文绝对温度。在室温下,  $T$  等于 300K。本文中出现的的所有计算, 都假设  $T$  为室温。

方程式 1 的三个项表明放大器输出的噪声密度贡献值。第一个项  $e_N$  为放大器的固有电压噪声密度, 其与电源电阻无关。第二个项  $i_N \times R_S$  表示电流噪声密度的电压贡献值乘以电源电阻。第三个项  $\sqrt{4K_B T R_S}$ , 相当于电源电阻的热噪声密度。这三项的 RMS 和, 得到赫兹每平方根伏特为单位的放大器总电压噪声密度。

在方程式 1 中, 我们需要注意的是, 随着电源电阻增加,  $i_N \times R_S$  增加快于  $\sqrt{4K_B T R_S}$ 。这种情况很明显, 因为对于低电源电阻来说, 电源电阻热噪声密度为主导。但是, 会出现  $i_N \times R_S$  噪声贡献变得明显的某个点, 其主导噪声源。图 2

使用线性-线性刻度绘制出这两种噪声贡献值的曲线图。

双极放大器具有较大的电流噪声密度，电源电阻将其转换成电压噪声密度。相比双极放大器，CMOS 放大器在这方面拥有较大的优势，因为它们的组件具有极低的电流噪声密度。即使双极放大器和 CMOS 放大器都有三个噪声贡献因素，但 CMOS 放大器的总噪声密度仍然主要来自于两个噪声贡献因素，即  $e_N$  和  $\sqrt{4K_BTR_S}$ 。这是因为， $i_N \times R_S$  的电流噪声密度非常小，并且其对总噪声密度的影响可以忽略不计。

低噪声放大器的产品说明书绘制出了典型的图表，其表明电压和电流噪声密度同频率变化轨迹线的对比关系。图 3a 显示了双极放大器的曲线图，而图 3b 显示了 CMOS 放大器的曲线图。请注意，电流噪声密度线并未显示在图 3b 中，因为它极其的低，仅为毫微微安培级别。双极放大器的电流噪声密度为微微安培级别，这一数量值为 CMOS 放大器的 1000 倍。

要对这两种放大器的噪声贡献因素进行比较，可将 1 kHz 下的电压和电流噪声用作参考。这样做可以帮助进行比较说明，因为我们研究的是曲线图表的热噪声区域而非闪烁区域。图 3a 中，双极放大器具有  $3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  的电压噪声密度，和  $1 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$  的电流噪声密度。在图 3b 中，CMOS 放大器具有  $4.5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  的电压噪声密度。确定固有噪声密度的这些值以后，我们可以把方程式 1 的所有三项用于双极放大器，并把第一项和第三项用于 CMOS 放大器，便可量化噪声密度贡献因素。方程式 1 的扫描变量为电源电阻。换句话说，使用 1 kHz 电压和电流噪声密度时，电压噪声密度为电源电阻的函数，以此可以计算得到。例 1 显示了双极放大器的这种情况。

图 2 电压噪声密度对比电源电阻

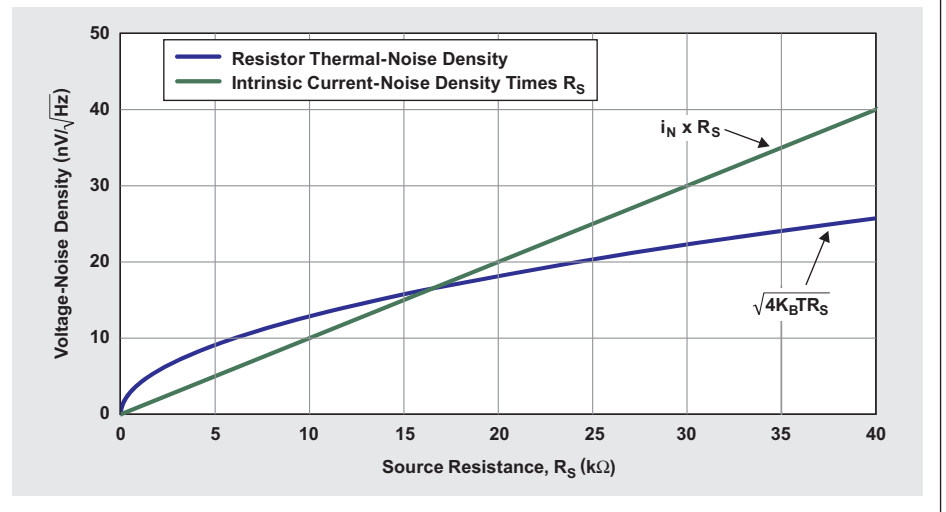
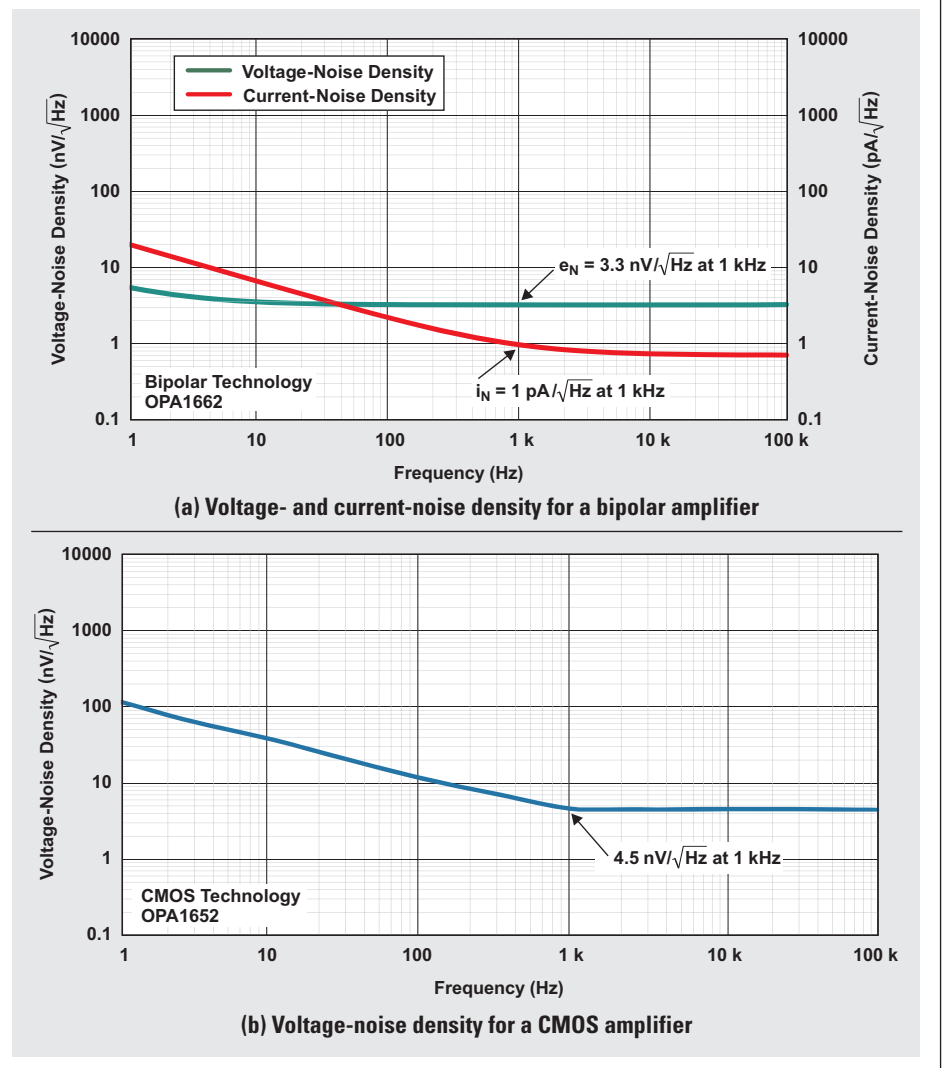


图 3 双极放大器和 CMOS 放大器噪声密度与频率比较图



**例1：双极放大器的噪声贡献因素**

$$e_N = 3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

$$i_N \times R_S = 1 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}} \times R_S$$

$$\sqrt{4K_BTR_S} = \sqrt{4 \times (1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}) \times (300 \text{ K}) \times (R_S)}$$

方程式 1 的第二项不用于 CMOS 放大器，因为电流噪声密度在 CMOS 放大器中可以忽略不计。例 2 显示了 CMOS 放大器的计算方法。

**例 2 CMOS 放大器的噪声贡献因素**

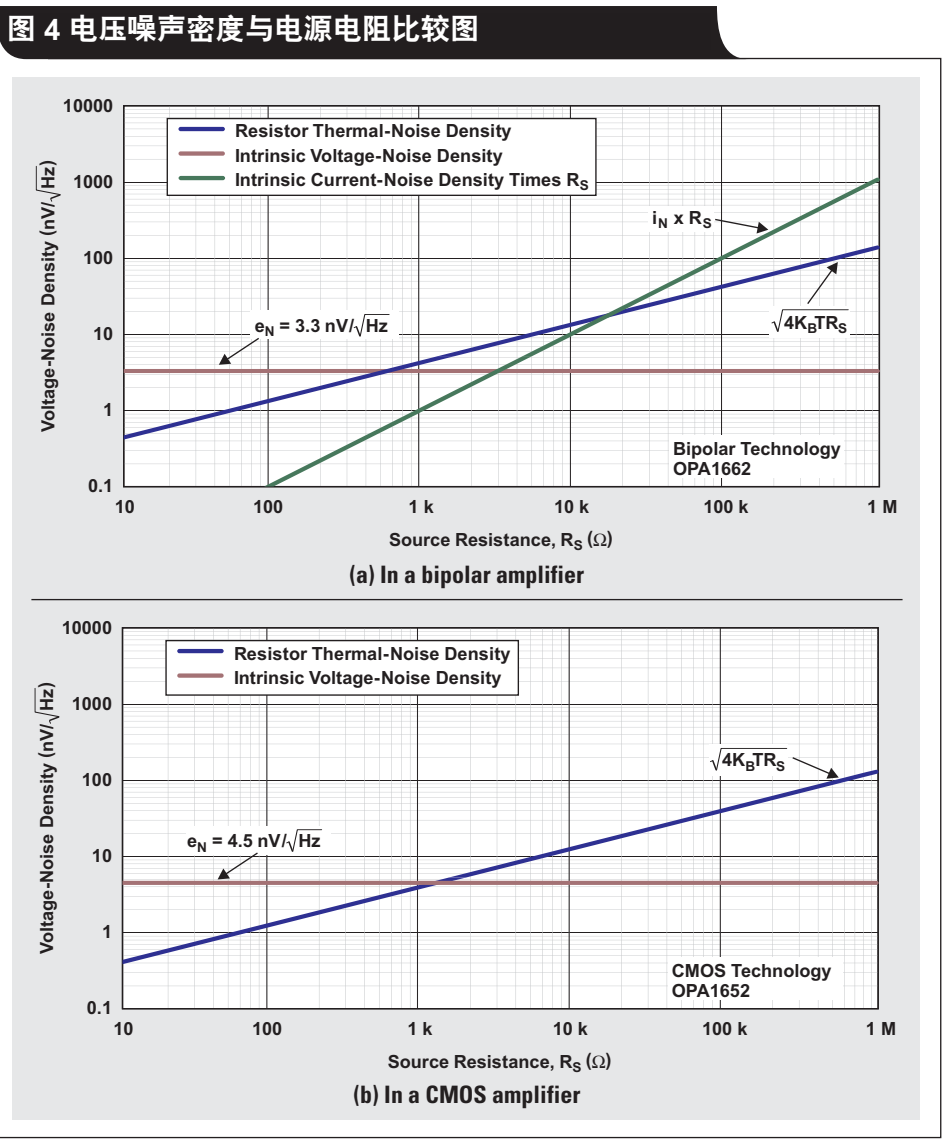
$$e_N = 4.5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

$$\sqrt{4K_BTR_S} = \sqrt{4 \times (1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}) \times (300 \text{ K}) \times (R_S)}$$

图 4a 绘制了双极放大器的三个噪声密度贡献因素。固有电压噪声密度 ( $e_N$ ) 线恒定不变，并与电源电阻无关。随着电源电阻增加， $i_N \times R_S$  值（尽管低电源电阻的较小）增加快于  $\sqrt{4K_BTR_S}$ ，从而主导噪声源。

图 4b 显示了 CMOS 放大器的噪声密度贡献因素。

双极放大器时，1 kHz 下的总电压噪声密度 (EO) 可利用方程式



1 计算得到。方程式2求解CMOS放大器总噪声密度如下：

$$E_o = \sqrt{(e_N)^2 + (4K_B TR_S)} \tag{2}$$

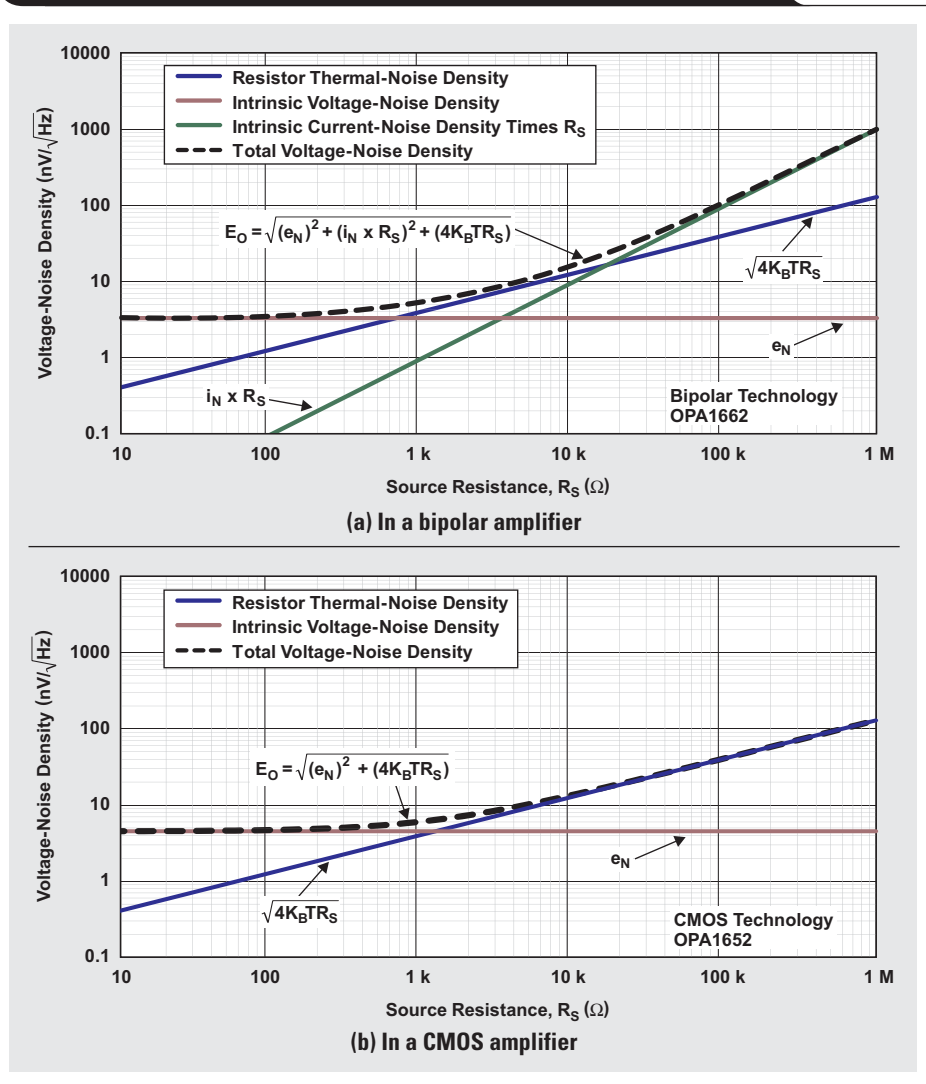
图5a和5b分别显示了双极放大器和 CMOS 放大器的总电压噪声密度曲线图

图 5a 显示，在使用低电源电阻值的双极放大器上，总电压噪声密度 ( $E_o$ ) 接近放大器固有电压噪声密度 ( $e_N$ )。使用中间范围电源电阻值时， $E_o$  接近电源电阻 ( $\sqrt{4K_B TR_S}$ ) 的热噪声密度。使用大电源电阻值时， $E_o$  接近电流噪声密度和电源电

阻乘积 ( $i_N \times R_S$ )。随着电源电阻增加，电流噪声密度成为一个重要的噪声贡献因素，并趋向于放大器的总输出电压噪声密度。

图5b显示，对于低电源电阻而言，CMOS放大器的 $E_o$ （与双极放大器类似），接近放大器的固有电压噪声密度 ( $e_N$ )。双极放大器和CMOS放大器之间的差别在于高电源电阻时噪声密度的变化趋势。如前所述，大电源电阻时，双极放大器  $E_o$ 趋向于  $i_N \times R_S$ 。但是，如图5b所示，CMOS放大器的 $E_o$ 趋向于电源电阻 ( $\sqrt{4K_B TR_S}$ ) 的热噪声密度。

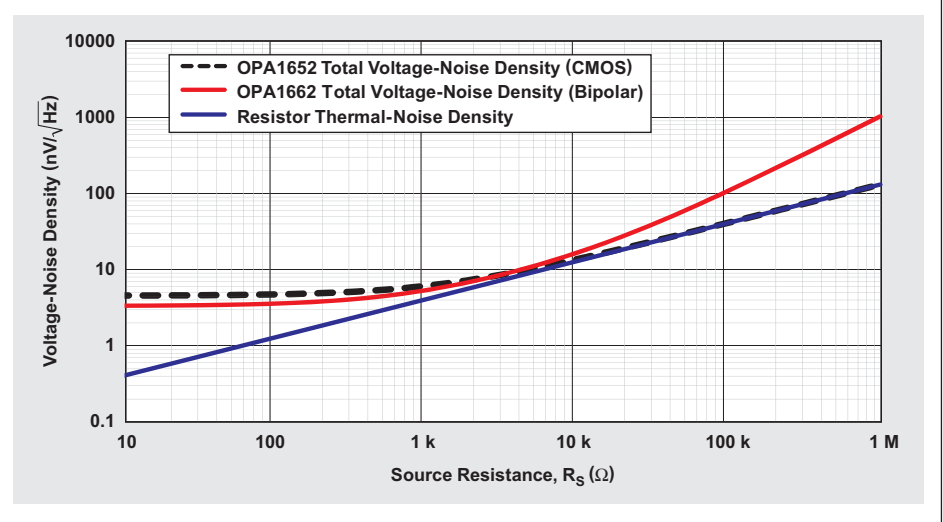
图 5 总电压噪声密度与电源电阻比较图



### 使用不同 RS 值进行噪声分析

图 6 显示了双极放大器和 CMOS 放大器 1kHz 下总电压噪声密度为电源电阻的函数。它包括了电源电阻的热噪声，以作为一种参考。我们可以在一些低噪声放大器（例如：TI OPA166<sup>2</sup> 和 OPA165<sup>3</sup>等）的产品说明书中看到这种图。它可以帮助系统工程师们决定哪种放大器是最佳选择，但具体将取决于建模的电源电阻。如果电源电阻曲线不可用，工程师可以通过将电压噪声密度曲线的值插入到方程式 1 和 2 来进行点计算，以确定哪种放大器可以获得最佳的噪声特性。

图 6 相对于 RS 热噪声密度的双极放大器与 CMOS 放大器总电压噪声密度



例 3 中，双极放大器（图 3a）在 1kHz 下具有 3.3 nV/√Hz 的电压噪声 (e<sub>N</sub>)。该产生相同量噪声的等效电阻值，可通过重写 e<sub>N</sub> = √(4K<sub>B</sub>TR<sub>S</sub>) 对 R<sub>S</sub> 求解来计算得到。

#### 例 3: i<sub>N</sub> × R<sub>S</sub> << √(4K<sub>B</sub>TR<sub>S</sub>) and a 和小 R<sub>S</sub> 值时的计算方法如下:

$$R_S = \frac{e_N^2}{4K_B T}$$

其中 e<sub>N</sub> = 3.3 nV/√Hz, K<sub>B</sub> = 1.38 × 10<sup>-23</sup> J/K, and T = 300 K.

$$R_S = \frac{(3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2}{4 \times (1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}) \times (300 \text{ K})} \approx 660 \Omega$$

RS 代入 660 Ω，得到噪声密度贡献因素:

$$e_N = 3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

$$i_N \times R_S = (1 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}) \times (660 \Omega) = 0.66 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

$$\sqrt{4K_B TR_S} = \sqrt{4 \times (1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}) \times (300 \text{ K}) \times (660 \Omega)} = 3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

总噪声为:

$$E_O = \sqrt{(3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2 + (0.66 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2 + (3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2} = 4.71 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

请注意，如果忽略电流噪声密度，则可得到:

$$E_O = \sqrt{(3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2 + (3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2} = 4.66 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

因此，电源电阻为 660 Ω 时忽略此项，对总电压噪声密度几乎没有影响。分解因子计算得到 √2 项，即 3dB:

$$E_O = \sqrt{2} \times (3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}) \approx 4.7 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

因此，如果使用 660 Ω 电源电阻，则噪声增加约为 4.7 nV/√Hz，也即 3dB。如果超出 660 Ω，则总噪声开始趋向于电源电阻的热噪声。

#### 例 4: 使用 i<sub>N</sub> × R<sub>S</sub> = √(4K<sub>B</sub>TR<sub>S</sub>) 和更大的 RS 值计算:

和例 3 一样，当 √(4K<sub>B</sub>TR<sub>S</sub>) 约等于 i<sub>N</sub> × R<sub>S</sub> 时，电流噪声密度开始成为主要因素:

$$i_N \times R_S = \sqrt{4K_B TR_S}$$

$$R_S = \frac{4K_B T}{(i_N)^2}$$

其中 i<sub>N</sub> = 1 pA/√Hz, K<sub>B</sub> = 1.38 × 10<sup>-23</sup> J/K, and T = 300 K.

$$R_S = \frac{4 \times (1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}) \times (300 \text{ K})}{(1 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}})^2} \approx 16 \text{ k}\Omega$$

RS 代入 16k Ω，得到噪声密度贡献因素为:

$$e_N = 3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

$$i_N \times R_S = (1 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}) \times (16 \text{ k}\Omega) = 16 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{4K_B TR_S} &= \sqrt{4 \times (1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}) \times (300 \text{ K}) \times (16 \text{ k}\Omega)} \\ &= 16 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}} \end{aligned}$$

总噪声为:

$$\begin{aligned} E_O &= \sqrt{(3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2 + (16 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2 + (16 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2} \\ &= 23.06 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}. \end{aligned}$$

如果忽略固有电压噪声密度, 可得到:

$$\begin{aligned} E_O &= \sqrt{(16 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2 + (16 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2} = \sqrt{2} \times (16 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}) \\ &= 22.82 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}} \end{aligned}$$

16k $\Omega$  电源电阻的固有电压噪声密度, 对总噪声密度几乎不产生影响, 因为放大器开始仅受到电源电阻电流噪声密度和热噪声密度的影响。如果超出 16k $\Omega$ , 总电压噪声密度开始趋向于  $i_N \times R_S$ 。两种放大器中, 双极放大器在低电源电阻 (约 660 $\Omega$  及以下) 时拥有最低噪声。

CMOS 放大器在高电源电阻时拥有最低噪声。3Db 点为电源电阻热噪声等于  $4.5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  时的那个点, 其相当于 1.2k $\Omega$ 。超过这个点以后, 输出噪声开始趋向于电源电阻的热噪声, 因为 CMOS 放大器的电流噪声可以忽略不计。

## 选择正确的放大器

我们可以利用一条快速有效的经验法则来确定最佳选择是双极放大器还是 CMOS 放大器: 如果  $e_N$  大于或者等于  $i_N \times R_S$ , 则应选择双极放大器; 否则应选择 CMOS 放大器。例如, 如果使用 OPA1662 的数据, 且  $R_S$  等于 100 $\Omega$ , 则  $e_N$  为  $3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ , 而  $i_N \times R_S$  为  $1 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}} \times 100 \Omega$ , 即  $0.1 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。由于  $3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}} > 0.1 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ , 因此最好是使用一个双极放大器。如果  $R_S$  等于 100 $\Omega$ , 则  $i_N \times R_S$  为  $1 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}} \times 100 \Omega$ , 即  $100 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。由于  $3.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}} < 100 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ , 因此正确的选择是 CMOS 放大器。这条经验法则忽略了电源电阻的热噪声, 其与选择哪种放大器无关。图 6 对这种经验法则进行了验证。

如果应用需要约 4k $\Omega$  的中等电源电阻, 那么根据图 6 我们应该选择使用哪种放大器呢? 当增益带宽、功率和 DC 规格兼容时, 一个双极放大器的价格几乎是 CMOS 放大器的两倍。因此应选择 CMOS 放大器, 因为在这种电源电阻条件下使用它获得的噪声特性与双极放大器差不多。

电源电阻的选择, 也会影响放大器的总谐波失真加噪声 (THD+N)。电源电阻增加, 会使双极放大器的 THD+N 变得糟糕, 而 CMOS 放大器的电流噪声可以忽略不计, 因此允许总失真增加。在大电源电阻的低噪声、低失真应用中, CMOS

放大器是更好的选择。

无独有偶, 通过选择热噪声值低于  $i_N \times R_S$  的电源电阻, 完成双极放大器的电流噪声测量工作。  $i_N \times R_S$  带来的电压噪声趋向大于电源电阻的热电压噪声, 因此测量较为容易。

## 结论

要求使用电源电阻的一些低噪声应用, 均要求使用一个能够最小化总输出电压噪声的放大器。本文为您介绍双极放大器和 CMOS 放大器的各种电压噪声贡献因素。这两种放大器具有兼容的带宽、功率和固有电压噪声。文章还表明双极放大器不宜用于高电源电阻, 因为来自  $i_N \times R_S$  的电压噪声逐渐成为主要噪声贡献因素。CMOS 放大器是一种更好的选择, 因为它的电流噪声可以忽略不计。了解这些信息以后, 在为某个噪声是唯一关键因素的低噪声应用选择放大器时, 系统设计人员便可以在双极放大器和 CMOS 放大器之间做出正确的选择。

## 参考文献

如欲了解本文更多详情, 敬请访问 [www.ti.com/lit/litnumber](http://www.ti.com/lit/litnumber) (用 TI 文献编号替换地址中的 "litnumber") 下载 Acrobat® Reader® 文件, 获取下列相关资料。

## 文献名称

## TI 文献编号

1、《模拟集成电路设计》, 作者: David Johns 和 Kenneth W. Martin, John Wiley & Sons 公司, 刊发时间为 1997 年。

2、《SoundPlus™ 低功耗、低噪声、低失真的双极输入音频运算放大器》, 刊发于 OPA1662/64 产品说明书

SBOS489

3、《SoundPlus™ 低功耗、低噪声、低失真、通用、FET 输入音频运算放大器》, 刊发于 OPA1652/54 产品说明书

SBOS477

4、《谐波失真: 第 1 部分—运算放大器中谐波失真与频率测量对比关系》, 作者: Jorge Vega 和 Raj Ramanathan, 刊发于在线版《EN-天才网络: 模拟地带: 数据采集区》, 网址: [http://www.en-genius.net/site/zones/acquisitionZONE/technical\\_notes/acqt\\_013012](http://www.en-genius.net/site/zones/acquisitionZONE/technical_notes/acqt_013012)

## 相关网站

[amplifier.ti.com](http://amplifier.ti.com)

[www.ti.com/product/OPA1652](http://www.ti.com/product/OPA1652)

[www.ti.com/product/OPA1662](http://www.ti.com/product/OPA1662)

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。仅在TI 保证的范围内, 且TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于TI 的产品手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	产品		应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP 机动性处理器	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>		
	德州仪器在线技术支持社区		<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122  
Copyright © 2012 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司