

设计要点

运算放大器选择指南助您获得上佳的噪声性能

设计要点 355

Glen Brisebois

引言

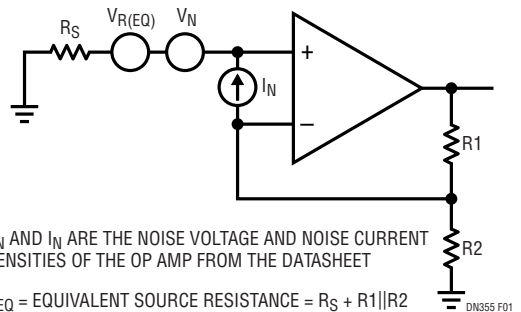
凌特公司的低噪声运算放大器产品库不断壮大，这并不是因为噪声的物理性质发生了变化，而是因为正在将低噪声规格与诸如轨至轨操作、停机、低电压和低功率操作等新功能加以组合。运算放大器噪声取决于输入级工作电流、器件类型（双极型或 FET）和输入电路。本选择指南旨在帮助您确定基本的噪声折衷方案，并选择与您的应用相适合的最佳运算放大器（无论新款还是老款）。

电阻器热噪声和运算放大器噪声的量化

了解噪声折衷方案的关键在于“电阻器具有噪声”这一事实。在室温条件下，一个阻值为 R 的电阻器具有一个 RMS 电压噪声密度（或“点噪声”）为 $V_R = 0.13\sqrt{R}$ 的噪声（单位： nV/\sqrt{Hz} ）。于是，一个 10k 电阻器具有 $13nV/\sqrt{Hz}$ 的噪声，而一个 1M 电阻器则具有 $130nV/\sqrt{Hz}$ 的噪声。严格来讲，噪声密度的计算公式为 $V_R = \sqrt{4kTR}$ ，其中，k 为玻尔兹曼 (Boltzman) 常数，T 为温度（单位：开氏度）。这种温度相关性说明了为什么有些低噪声电路采取了对电阻器进行过冷处理的方法。请注意，相同的电阻器也可被认为具有 $I_R = \sqrt{4kT/R}$ 的噪声电流或 $P_R = 4kT = 16.6 \cdot 10^{-21} W/Hz = 16.6 \text{ zeptoWatt}/Hz$ 的噪声功率密度，这与其阻值 R 无关。正确放大器的选择简单地讲就是看谁在电阻器噪声之上增加的噪声量最小。

请不要对“ \sqrt{Hz} ”这一奇异的单位而感到惊慌。它的出现简单地讲就是因为噪声功率会随著带宽的增加（每赫兹）而增加，因此噪声电压将随著带宽平方根的增加（每方根赫兹）而增加。为了利用该规格，只需简单地将其与应用带宽的平方根相乘，便可计算出该带宽之内的合成 RMS 噪声。以示波器上显示的峰至峰噪声为例，它在 99% 的时间里将是总 RMS 噪声的 6 倍左右（假设是高斯“钟形曲线”噪声）。不要依靠运算放大器去限制带宽。为了获得最佳的噪声性能，应采用无源或低噪声有源滤波器来限制带宽。

运算放大器的输入噪声规格通常是以 nV/\sqrt{Hz} （用于表示噪声电压）和 pA/\sqrt{Hz} 或 fA/\sqrt{Hz} （用于表示噪声电



V_N AND I_N ARE THE NOISE VOLTAGE AND NOISE CURRENT DENSITIES OF THE OP AMP FROM THE DATASHEET

$R_{EQ} = \text{EQUIVALENT SOURCE RESISTANCE} = R_S + R_1 \parallel R_2$

$V_{R(EQ)} = 0.13\sqrt{R_{EQ}}$ IS RESISTOR THERMAL NOISE IN nV/\sqrt{Hz}

EXPRESS V_N , $V_{R(EQ)}$ AND $I_N \cdot R_{EQ}$ IN nV/\sqrt{Hz}

$V_{N(TOTAL)} = \sqrt{V_N^2 + V_{R(EQ)}^2 + (I_N \cdot R_{EQ})^2}$
= THE TOTAL INPUT REFERRED NOISE IN nV/\sqrt{Hz}

图 1：运算放大器噪声模型。 V_N 和 I_N 为运算放大器噪声源（相关电流噪声未示出）。 $I_{R(EQ)}$ 为电阻器所产生的电压噪声

流）为单位给出的，因此可以直接与电阻器热噪声进行比较。鉴于噪声密度会在低频条件下发生变化这一事实，大多数运算放大器还拟订了一个“0.1Hz 至 10Hz”或“0.01Hz 至 1Hz”带宽范围内的典型峰至峰噪声规格。为了实现最佳的超低频率性能，您可以考虑采用像 LTC[®]2050 或 LTC2054 这样的零漂移放大器。

噪声源求和运算

图 1 示出了一种具有外加噪声源的理想化运算放大器和电阻器。图中还给出了用于计算与输入相关的所有噪声源 RMS 和（即： $V_{N(TOTAL)}$ ）的公式。出现于输出端上的正是该电压噪声密度与电路的噪声增益 ($NG = 1 + R_1/R_2$) 相乘的结果。

根据 $V_{N(TOTAL)}$ 的计算公式，我们可以得出几个结论。为了获得最低的噪声，电阻器的阻值应该尽可能地小，但是，由于 R_1 是一个位于运算放大器输出端上的负载，因此它一定不得过小。在某些应用（例

LT、LTC 和 LT 是凌特公司的注册商标。
所有其他商标均为其各自拥有者的产权。

如跨阻放大器)中, R_1 是电路中仅有的电阻器, 而且常常具有很大的阻值。当 R_{EQ} 很低时, 噪声将以运算放大器电压噪声为主(因为 V_N 是公式中剩余的项); 当 R_{EQ} 非常高时, 噪声将以运算放大器电流噪声为主(因为 I_N 是最高次 R_{EQ} 项的系数)。当 R_{EQ} 数值中等时, 电阻器噪声将在总噪声中占主导地位, 而运算放大器产生的噪声则微乎其微。这就是放大器的 $R_{OPTIMUM}$, 并可通过取运算放大器噪声规格的商来求出: $V_N/I_N=R_{OPT}$ 。

选择最佳的运算放大器

图 2 中示出了三种不同频率条件下源电阻和不同运算放大器的电压噪声密度曲线图。每个用一个运算放大器的器件型号加以标注的点表示的是该器件在采用其 R_{OPT} 的情况下所得出的电压噪声密度。

将该曲线图与最适用的所需频率配合使用。在横轴上找到您的源电阻, 并在其与电阻器噪声线相交的位置上标出该电阻。这就是“源电阻点”。最佳噪声性能运算放大器位于该点之下, 而且越低越好。

对于所有的候选运算放大器, 从您的源电阻点画一条水平线, 一直延伸到曲线图的右侧。低于该水平线的运算放大器将能够提供优良的噪声性能, 同样也是越低越好。另外, 再从源电阻点向左下方画一条直线(其斜率为纵轴与横轴的单位距离之比), 位于该线下方的运算放大器也是上佳之选。

如果您仍然无法找到任何候选器件, 则说明您的源电阻非常低, 必须采用最靠近曲线图底部的运算放大器。在这种场合, 将低噪声运算放大器并联起来使用也是一种可选方案。

结论

噪声分析一开始可能是一项令人望而生畏的工作, 而且许多设计工程师对该领域并不熟悉。对总噪声性能影响最大的因素是与信号有关的源阻抗。本选择指南有助于设计师(不管是新手还是经验丰富的老手)在任何给定的源阻抗条件下选择最佳的运算放大器。

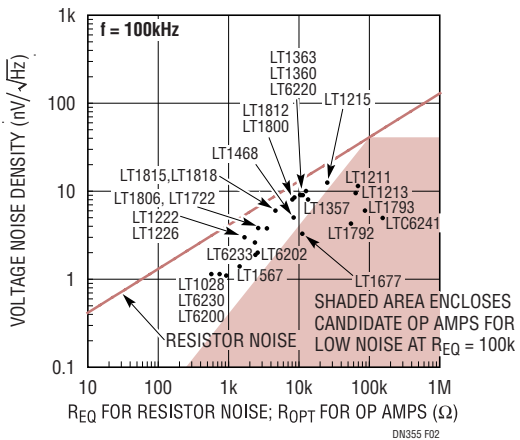
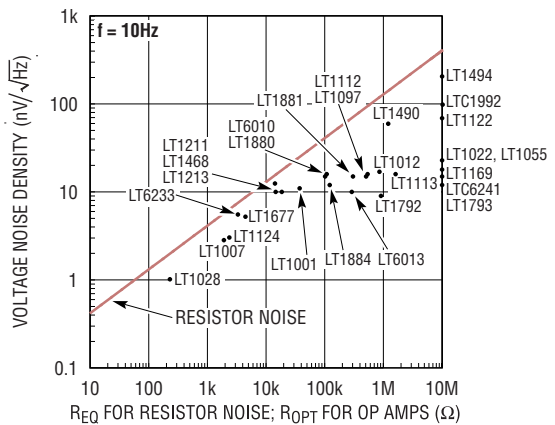
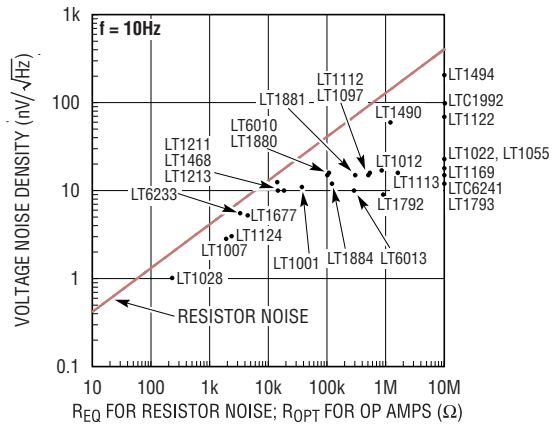


图 2: 使用这三幅曲线图来找到适合您应用要求的最佳低噪声运算放大器

产品手册下载

<http://www.linear.com.cn>

如要获得更多资料或技术支持, 请与我们的销售部或当地分销商联络, 也可浏览我们的网址: www.linear.com.cn 或电邮到 info@linear-tech.com.hk

凌特有限公司
Linear Technology Corporation Ltd.
www.linear.com.cn

香港办事处
电话: (852) 2428-0303 传真: (852) 2348-0885
上海办事处
电话: (021) 6375-9478 传真: (021) 6375-9479
北京办事处
电话: (010) 6801-1080 传真: (010) 6805-4030
深圳办事处
电话: (755) 8236-6088 传真: (755) 8236-6008

骏龙科技有限公司
Cytech Technology Ltd.
www.cytech.com

香港电话: (852) 2375-8866 传真: (852) 2375-7700
北京电话: (010) 8268-4280 传真: (010) 8268-4277
上海电话: (021) 6440-1373 传真: (021) 6440-0166
深圳电话: (0755) 2693-5811 传真: (0755) 2693-5400
南京电话: (025) 8481-0877 传真: (025) 8480-8023
杭州电话: (0571) 8898-4683 传真: (0571) 8898-4713
成都电话: (028) 8652-7116 传真: (028) 8652-7556
西安电话: (029) 8837-8918 传真: (029) 8837-8919
武汉电话: (027) 8736-0546 传真: (027) 8736-0547
厦门电话: (0592) 563-8488 传真: (0592) 563-7169

科汇裕利
Memic Unique
www.unique-ap.com.cn
unique@memic-asiapacific.com

香港电话: (852) 2410-2778 传真: (852) 2370-3247
北京电话: (010) 8519-1866 传真: (010) 8519-1865
上海电话: (021) 6123-4671 传真: (021) 6123-4652
深圳电话: (0755) 8366-4329 传真: (0755) 8366-4330
南京电话: (025) 8689-0351 传真: (025) 8689-0352
成都电话: (028) 8652-8252 传真: (028) 8652-8253
西安电话: (029) 8822-9180 传真: (029) 8825-8595
武汉电话: (027) 8732-2750 传真: (027) 8732-2729
厦门电话: (0592) 516-4701 传真: (0592) 516-4702
青岛电话: (0532) 582-1322 传真: (0532) 584-7123

dn355f 0305 119.9K • PRINTED IN CHINA

© LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 2005

