

### 单极点系统的运算放大器总输出噪声计算

我们已经指出，噪声比一些较大噪声源少三分之一至五分之一的任何噪声源都可以忽略，几乎不会有误差。此时，两个噪声电压必须在电路内的同一点测量。要分析运算放大器电路的噪声性能，必须评估电路每一部分的噪声贡献，并确定以哪些噪声为主。为了简化后续计算，可以用噪声频谱密度来代替实际电压，从而带宽不会出现在计算公式中(噪声频谱密度一般用nV/√Hz表示，相当于1 Hz带宽中的噪声)。

如果考虑下图1中的电路——由一个运算放大器和三个电阻组成的放大器(R3代表节点A处的源阻抗)，可以发现六个独立噪声源：三个电阻的约翰逊噪声、运算放大器电压噪声和运算放大器各输入端的电流噪声。每个噪声源都会贡献一定的放大器输出端噪声。噪声一般用RTI来规定，或折合到输入端，但计算折合到输出端(RTO)噪声往往更容易，然后将其除以放大器的噪声增益(非信号增益)便得到RTI噪声。

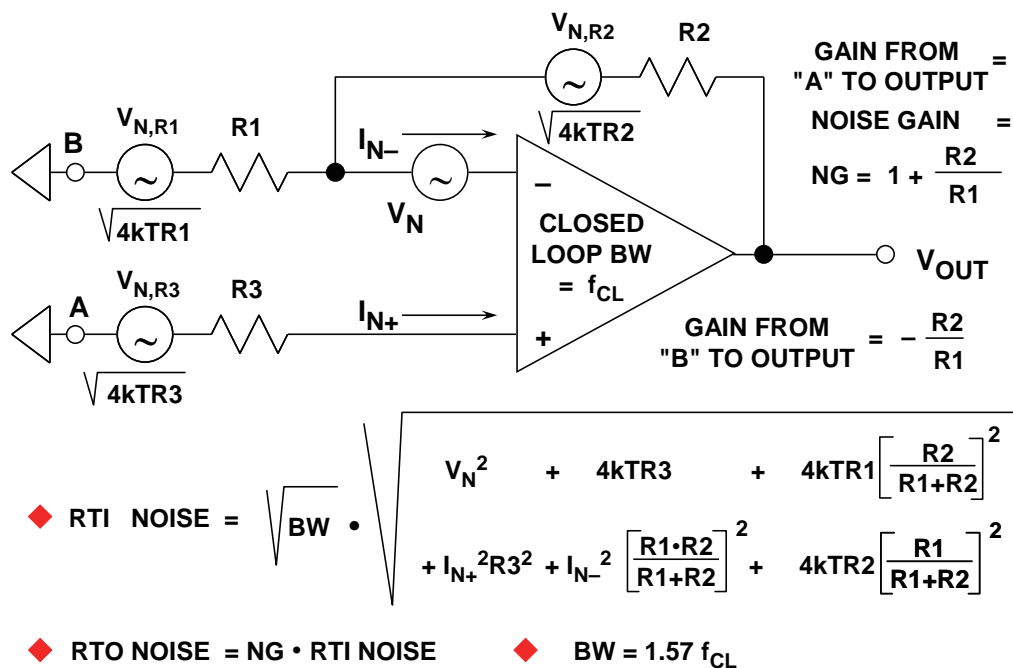


图1：单极点系统的运算放大器噪声模型

下图2详细分析了图1中的各噪声源是如何反映到运算放大器输出端的。有关反相输入端的电流噪声效应，还需要进一步讨论。此电流 $I_{N-}$ 不会按预期流入R1——放大器周围的负反馈可使得反相输入端的电位保持不变，因此从该引脚流出的电流在负反馈强制作用下仅能流入R2，从而产生 $I_{N-}$  R2输出端电压。也可以考虑 $I_{N-}$ 流入R1和R2并联组合产生的电压，然后通过放大器的噪声增益放大，但结果是一样的，计算反而更复杂。

NOISE SOURCE EXPRESSED AS A VOLTAGE	MULTIPLY BY THIS FACTOR TO REFER TO THE OP AMP OUTPUT
Johnson noise in R3: $\sqrt{4kTR3}$	Noise Gain = $1 + R2/R1$
Non-inverting input current noise flowing in R3: $I_{N+}R3$	Noise Gain = $1 + R2/R1$
Input voltage noise: $V_N$	Noise Gain = $1 + R2/R1$
Johnson noise in R1: $\sqrt{4kTR1}$	$-R2/R1$ (Gain from input of R1 to output)
Johnson noise in R2: $\sqrt{4kTR2}$	1
Inverting input current noise flowing in R2: $I_{N-}R2$	1

图2：折合到输出端的噪声源(RTO)

请注意，与三个电阻相关的约翰逊噪声电压已包括在图2的表达式中。所有电阻的约翰逊噪声为 $\sqrt{4kTBR}$ ，其中k是玻尔兹曼常数( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K)，T是绝对温度，B是带宽(单位为Hz)，R是电阻(单位为 $\Omega$ )。一个很容易记住的简单关系是：1000  $\Omega$ 电阻在25°C时产生的约翰逊噪声为4 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 。

以上分析假设是单极点系统，其中反馈网络为纯阻性，且噪声增益与频率关系曲线平坦。此情况适用于大多数应用，但如果反馈网络包含电抗元件(通常为电容)，则噪声增益在目标带宽内不恒定，必须使用更复杂的技术来计算总噪声。有关二阶系统噪声的考虑，请参见[指南MT-050](#)。

## 参考文献

1. Hank Zumbahlen, *Basic Linear Design*, Analog Devices, 2006, ISBN: 0-915550-28-1. Also available as [\*Linear Circuit Design Handbook\*](#), Elsevier-Newnes, 2008, ISBN-10: 0750687037, ISBN-13: 978-0750687034. Chapter 1.
2. Walter G. Jung, [\*Op Amp Applications\*](#), Analog Devices, 2002, ISBN 0-916550-26-5, Also available as [\*Op Amp Applications Handbook\*](#), Elsevier/Newnes, 2005, ISBN 0-7506-7844-5. Chapter 1.

Copyright 2009, Analog Devices, Inc. All rights reserved. Analog Devices assumes no responsibility for customer product design or the use or application of customers' products or for any infringements of patents or rights of others which may result from Analog Devices assistance. All trademarks and logos are property of their respective holders. Information furnished by Analog Devices applications and development tools engineers is believed to be accurate and reliable, however no responsibility is assumed by Analog Devices regarding technical accuracy and topicality of the content provided in Analog Devices Tutorials.