

仪表放大器直流误差源

仪表放大器的直流和噪声规格与常规运算放大器略有不同，因此需要进行讨论以全面了解各种误差源。

增益设置电阻误差

仪表放大器的增益通常通过单个电阻进行设置。如果电阻位于仪表放大器外部，则其值要么根据公式计算，要么从数据手册中的表格中选择，具体取决于所需的增益。采用外部增益设置电阻的仪表放大器有[AD620](#)、[AD623](#)、[AD627](#)、[AD8220](#)(JFET输入、轨到轨输出)、[AD8221](#)、[AD8222](#)、[AD8223](#)和[AD8224](#)。

绝对值激光晶圆调整技术允许用户通过这一个电阻对增益进行精确编程。该电阻的绝对精度和温度系数直接影响着仪表放大器的增益精度和漂移。由于外部电阻不可能精确匹配内部薄膜电阻的温度系数，因此，应选择一个低温度系数TC ($< 25 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$)金属薄膜电阻，其精度最好为0.1%或以上。

许多仪表放大器的额定增益范围一般为1至1000或者1至10000，因此，在较高增益下也能正常工作，但制造商并不保证能在这些高增益下实现特定性能水平。实践中，随着增益设置电阻变小，因金属走线和焊线电阻导致的误差将变大。这些误差再加上噪声和漂移的增加，结果可能使较高单级增益失去实用价值。另外，当反映到高增益输出时，输入失调电压可能变得很大。例如，对于增益为10000的输出，0.5 mV的输入失调电压将变成5 V。对于高增益，最佳做法是用一个仪表放大器作为前置放大器，然后用一个后置放大器进一步放大。

在引脚可编程增益仪表放大器(如[AD621](#)、[AD624](#))中，增益设置电阻是内置的，而且匹配良好，并且器件增益精度和增益漂移规格包括了其效应。在其他方面，[AD621](#)与外部增益编程AD620相似。

[AD8250](#)、[AD8251](#)和[AD8253](#)同时具有引脚可编程增益和软件可编程增益，采用ADI公司iCMOS®工艺设计而成，工作电压为 $\pm 5 \text{ V}$ 至 $\pm 15 \text{ V}$ 。这些器件的输入阻抗处于 $\text{G}\Omega$ 范围之内。

增益误差和增益非线性度

增益误差规格为与增益方程的最大偏差。单片仪表放大器(如[AD8221](#)(BR级))具有极低的工厂调整增益误差，该高品质仪表放大器的最大误差为0.02%($G = 1$)和0.15%($G = 1000$)。

注意，增益误差随着增益的增加而加大。尽管外部连接的增益网络允许用户精确设置增益，但外部电阻的温度系数以及网络中各电阻之间的温差都会加大整体增益误差。如果数据最终进行数字化处理并呈现给数字处理器，则可通过测量已知基准电压并乘以一个常数，来更正增益误差。

根据定义，增益非线性度指相对于输出与输入关系坐标图中一条直线的最大偏差。直线画在实际传递函数的终点之间。高品质仪表放大器的增益非线性度一般为0.01% (100 ppm)或以下，而且对推荐增益范围内的增益相对不太敏感。

输入失调电压与偏置电流误差

仪表放大器的总输入失调电压由两部分组成(见下图1)。输入失调电压 V_{OSI} 是由增益G反映到仪表放大器输出端的输入失调组分。输出失调电压 V_{OSO} 则是独立于增益的。

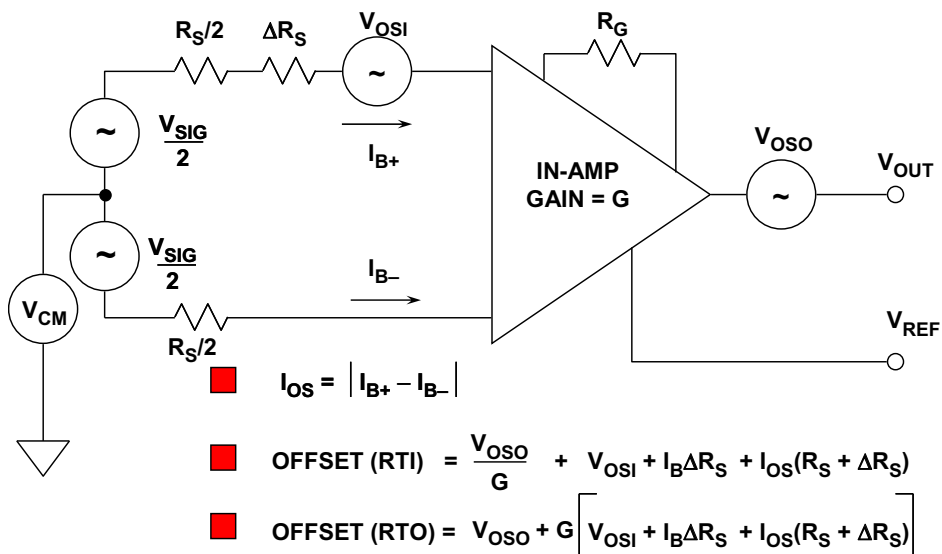


图1：仪表放大器失调电压模型

在低增益情况下，输出失调电压占据主导地位，在高增益下，输入失调电压较为显著。输出失调电压漂移通常在 $G = 1$ 时测得(此时，输入效应并不显著)，输入失调电压漂移则是在高增益下测得的漂移规格(此时，输出失调效应可忽略不计)。

折合到输入端(RTI)的总输出失调误差等于 $V_{OSI} + V_{OSO}/G$ 。仪表放大器数据手册可能会分别规定 V_{OSI} 和 V_{OSO} ，或者给出不同增益值的总RTI输入失调电压。

输入偏置电流也可能在仪表放大器电路中产生失调误差(同样参见图1)。如果源电阻 R_s 的不平衡量为 ΔR_s (桥接电路通常如此),则偏置电流会导致额外的输入失调电压误差,等于 $I_B \Delta R_s$ (设 $I_{B+} \approx I_{B-} = I_B$)。该误差被反映到输出端,分频系数为增益 G 。

输入失调电流 I_{OS} 会在源电阻 $R_s + \Delta R_s$ 上产生输入失调电压误差,等于 $I_{OS}(R_s + \Delta R_s)$,同样由增益 G 反映到输出端。

共模抑制与电源抑制误差

仪表放大器共模误差同时为增益和频率的函数。ADI针对仪表放大器规定的共模抑制是在1 k Ω 源阻抗不平衡、60 Hz频率条件下测得的。RTI共模误差通过将共模电压 V_{CM} 除以共模抑制比CMRR而得到。

下面的图2展示的是AD620仪表放大器的共模抑制,为频率的函数,其源阻抗不平衡为1 k Ω 。

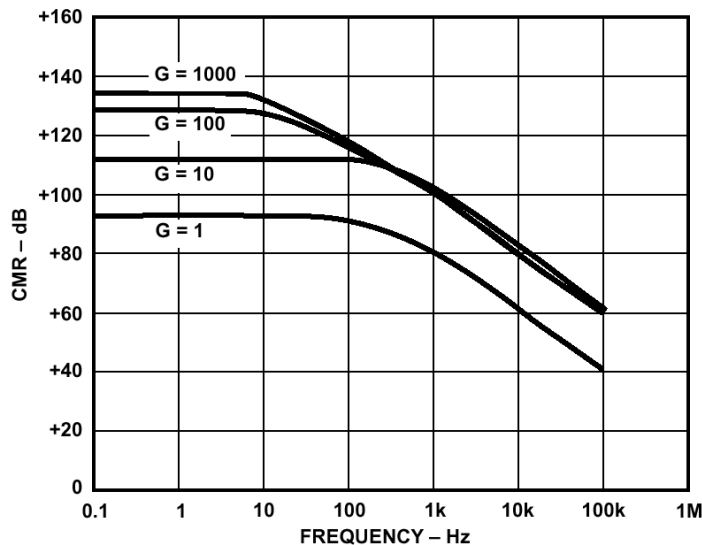


图2: AD620仪表放大器共模抑制(CMR)与频率的关系(源不平衡为1 k Ω)

电源抑制(PSR)同样为增益和频率的函数。对于仪表放大器来说,一般是分别规定各个电源的灵敏度,如针对AD620的下图3所示。RTI电源抑制误差通过将电源的标称偏差除以电源抑制比PSRR获得。

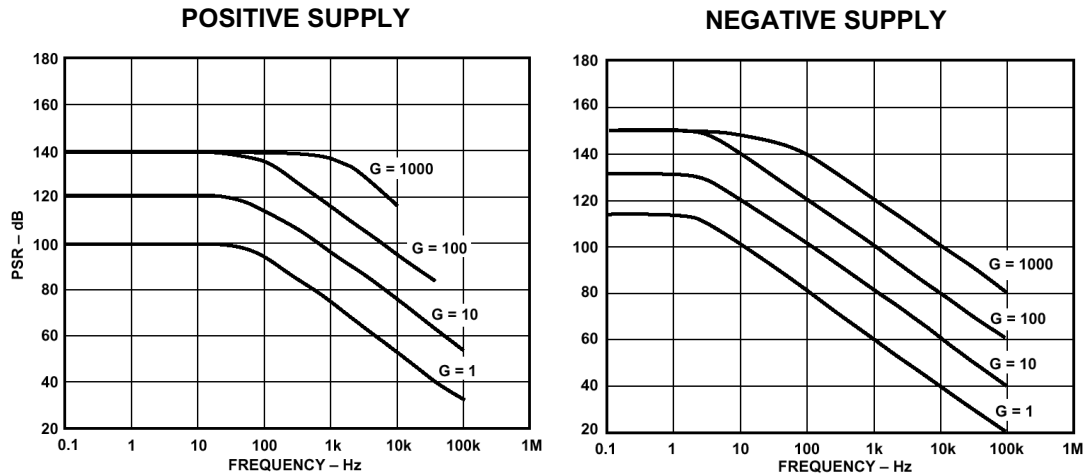


图3: AD620仪表放大器电源抑制(PSR)与频率的关系

由于高频下的PSR性能较差，因此，仪表放大器的两个电源引脚都需要去耦电容。低电感陶瓷电容(0.01至0.1 μF)对于高频非常适用。低ESR电解电容也应位于PC板上的几个点，以实现低频去耦。

仪表放大器直流误差总预算

以上处理了所有直流误差源，现在，我们可以将所有源反映到仪表放大器输入端，从而算出最差情况下的直流误差预算，如下面图4中的表所示。

ERROR SOURCE	RTI VALUE
Gain Accuracy (ppm)	Gain Accuracy \times FS Input
Gain Nonlinearity (ppm)	Gain Nonlinearity \times FS Input
Input Offset Voltage, V_{OSI}	V_{OSI}
Output Offset Voltage, V_{OSO}	$V_{OSO} \div G$
Input Bias Current, I_B , Flowing in ΔR_S	$I_B \Delta R_S$
Input Offset Current, I_{OS} , Flowing in R_S	$I_{OS}(R_S + \Delta R_S)$
Common Mode Input Voltage, V_{CM}	$V_{CM} \div \text{CMRR}$
Power Supply Variation, ΔV_S	$\Delta V_S \div \text{PSRR}$

图4: 折合到输入端(RTI)的仪表放大器直流误差

需要注意，只需将RTI误差乘以仪表放大器增益，即可将直流误差折合到仪表放大器输出端(RTO)。

参考文献

1. Hank Zumbahlen, *Basic Linear Design*, Analog Devices, 2006, ISBN:0-915550-28-1. 另见 [Linear Circuit Design Handbook](#), Elsevier-Newnes, 2008, ISBN-10:0750687037, ISBN-13:978-0750687034。 Chapter 2.
2. Walter G. Jung, *Op Amp Applications*, Analog Devices, 2002, ISBN 0-916550-26-5, 另见 [Op Amp Applications Handbook](#), Elsevier/Newnes, 2005, ISBN 0-7506-7844-5. Chapter 2.
3. Charles Kitchin and Lew Counts, *A Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers, 3rd Edition*, Analog Devices, 2006.

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.