

非常见问题解答—第132期

如何选择精密运算放大器？相信“金发姑娘”。

作者：Daniel Burton



问：

我正在为我的精密信号路径选择运算放大器。速度是不是越快越好？

答：

为精密运算放大器应用选择合适的带宽非常像金发姑娘试图挑选三碗熊的麦片粥——一碗太热，一碗太冷，一碗正好。我们希望放大器的速度不太慢也不太快，刚好能为我们的信号提供保持稳定性和精确性所需的全部增益和速度。

本应用中，电压反馈运算放大器的关键运算放大器规格是增益带宽积(GBP)和相位裕量(PM)。图1显示了ADA4610开环增益和相位与频率的关系；该器件是一款广泛使用的运算放大器。曲线表明，运算放大器增益在低频时高于30,000 (90 dB)，以20 dB/十倍频程滚降，并在大约10 MHz处达到单位增益(0 dB)——10 MHz称为单位增益交越频率。运算放大器开环增益曲线让我们能够确定其GBP，并以给定的闭环增益和带宽设计放大器电路(如GBP = 增益 × 带宽，如图2所示)。例如，注意闭环增益(A_V)经历了十倍频程下降，从100 (或40 dB)下降至10 (或20 dB)；而带宽因此增加了十倍频程，从163 kHz上升至1.63 MHz。

类似地，图1中的运算放大器相位曲线与信号通过运算放大器时其固有相位偏移有关。相位裕量可以通过读取放大器电路带宽处的相位偏移而近似得到。对于ADA4610来说，相位裕量大约为67°，足以保持稳定性。如果系统设计导致放大器电路的相位裕量降低，输出端便可能产生剧烈振铃，甚至振荡等现象。

除了稳定性，精度也受频率影响。在较低频率处，开环运算放大器增益(A_{VOL})最高，有时称为直流增益。随着频率增加，增益下降，增益误差更大。因此，频率无需增加多少，就能看到增益误差过大，影响传感器信号精度。

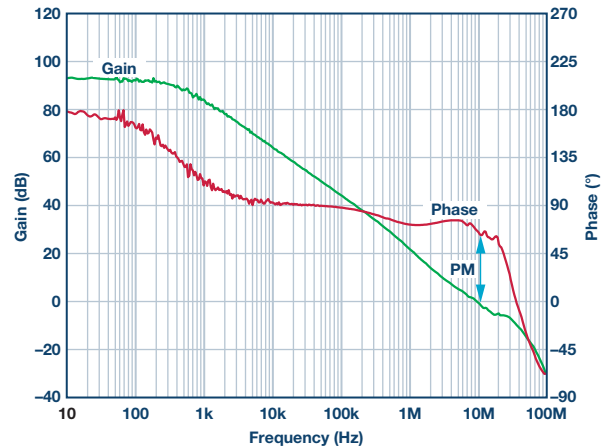


图1. 开环增益和相位与频率的关系

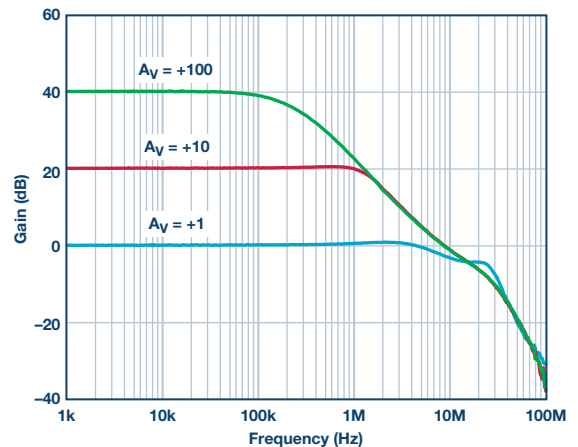


图2. 闭环增益与频率的关系

闭环增益可以通过下式计算。其中， β 是反馈系数， $1/\beta$ 是理想闭环增益(比如图2中的100 V/V绿线)， $A\beta$ 乘积称为环路增益。

$$A_V = \left(\frac{1}{\beta} \right) \left(\frac{1}{1 + 1/A\beta} \right)$$

环路增益随频率下降时，可以看到增益误差增加。百分比误差可以通过下式计算：

$$Error = 1 - \left(\frac{1}{1 + 1/A\beta} \right) \times 100$$

在图形上，将环路增益 $A\beta$ 想象为图1中开环直流增益(同样可见于数据手册规格)与图2中闭环增益之差。例如，为运算放大器开环增益取一个100 dB的良好舍入值，并为闭环增益取一个40 dB的理想值，我们可以得到环路增益为60 dB(或者1000 V/V)。表1表明，增加环路增益会降低误差(精度更高)。

表1：增加环路增益可降低误差

开环直流增益 [dB]	闭环增益 [dB]	环路增益 [dB]	环路增益 (Volts/Volt)	误差 [相比理想值的 百分比]
100	40	60	1000	0.1
100	20	80	10,000	0.01

因此，如果带宽和环路增益越大越好，那为什么不使用一个比我们的信号增益和带宽高得多的运算放大器呢？原因有很多。运算放大器的宽带噪声会在放大器的带宽内累积。如果选择一个带宽大于所需的运算放大器，那么放大器电路就会积累过多的噪声，降低系统的信噪比。速度更高的运算放大器更容易受到系统寄生电容的影响，在反馈信号中引入延迟，并降低相位裕量，进而影响稳定性。最后，更快的运算放大器功耗更高，因为运算放大器输出级的空闲电流必须更高，才能以更高的频率驱动负载电容。

选择最快的运算放大器会降低功耗性能，影响信号质量。选择过慢的运算放大器会影响精度、稳定性和其它性能测量。正确的做法是，找到适合应用的运算放大器，实现速度、增益、精度和相位裕量的有效平衡。

参考文献

Castro, Gustavo。更快、更高、更强。《模拟对话》，常见问题解答——第128期。ADI公司。

Jung, Walter G。运算放大器应用手册。ADI公司，2002年。

教程MT-033。电压反馈型运算放大器的增益和带宽。ADI公司，2009年。

教程MT-44。运算放大器开环增益和开环增益非线性。ADI公司，2009年。

Daniel Burton [daniel.burton@analog.com] 是ADI公司的应用工程师。他拥有圣何塞州立大学的电气工程学士学位，其职业生涯大多从事检测和精密线性信号路径相关的职位。Dan于2010年加入ADI公司，并专注于精密放大器和基准电压源产品。



Daniel Burton

该作者的其它文章：

[运算放大器输入过压保护：箝位与集成](#)

第50卷，第2期