

从零学运放—01运算放大器的参数



宜居远控

[关注](#)

0.506 2019.01.14 17:08:53 字数 4,757 阅读 1,968

为什么要学习运放？所有的传感器，信号采集都要用到运放，传感器将物理信号（声音，压力，温度等），变为电信号，比如电压，电流，经过运算放大器进行信号放大，滤波（信号调理），变为单片机能够进行AD转换的模拟信号（0-3.3V 0-5V），经过单片机模数转换，最后进行显示，控制等操作。

下面是运放的参数，其中比较重要的是电源电压，GBW，SR

※ **输入失调电压** (InputOffset Voltage) V_{os}

※ **输入失调电压的温漂** (OffsetVoltage Drift) Drift

※ **输入偏执电流** (InputBias Current) I_b

※ **输入失调电流** (InputOffset Current) I_{os}

※ **共模电压输入范围** (InputCommon-Mode Voltage Range) V_{cm}

※ **输出动态范围特性** (OutputCharacteristics)

※ **压摆率** (SlewRate) SR

※ **增益带宽积** (GainBandwidth Product) GBP **也叫GBW**

※ **开环增益** (Open-LoopVoltage Gain) A_{ol}

※ **共模信号抑制比** (CommonMode Rejection)

※ **电源纹波抑制比** (SupplyVoltage Rejection)

※ **噪声密度** (NoiseDensity)

实际运放参数有很多种，这里只是列出来我们通常普遍用到的参数。

所有的运放都可以双电源供电，如下图，OPA227 OPA228供电范围是 $\pm 18V$ ，也可以单电源供电就是0-36V。OPA333的供电是0-7V，也能以 $\pm 3.5V$ 双电源供电。单电源最好用LDO供电，双电源负电压用电荷泵产生。

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

Supply Voltage $\pm 18V$

OPA227 OPA228运放的最大供电范围

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

| | VALUE | UNIT |
|----------------|------------------------------|------|
| Supply voltage | $\pm 20, 40$ (single supply) | V |

OPA188运放的最大供电范围

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

| | VALUE | UNIT |
|--------|-------|------|
| Supply | +7 | V |

OPA333运放的最大供电范围

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

Supply Voltage $\pm 18V$

OPA637运放的最大供电范围

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

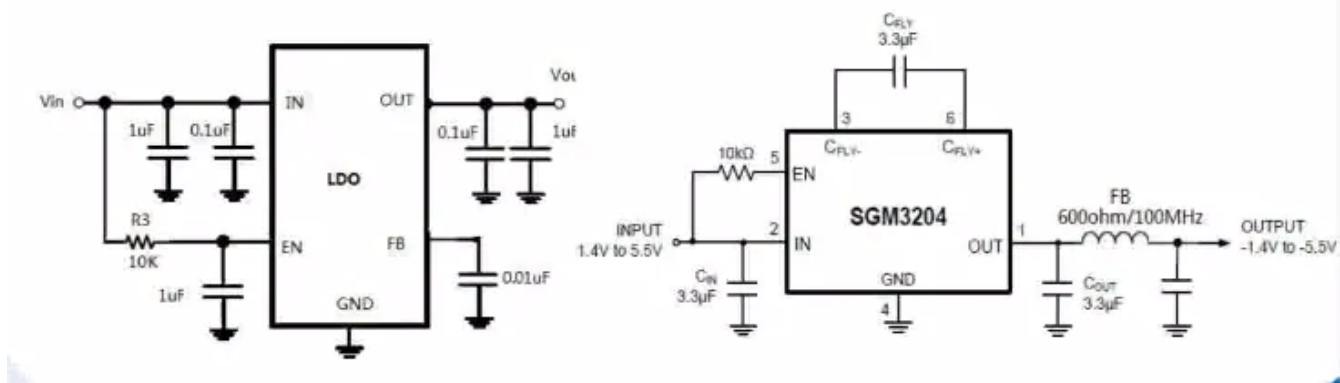
Over operating free-air temperature range, unless otherwise noted.

| | OPA842 | UNIT |
|--------------|-----------|-----------------|
| Power Supply | ± 6.5 | V _{DC} |

OPA842运放的最大供电范围

➤ LDO

- 单电源供电系统用**LDO**给**OPA**供电；
- 双电源系统，负压**LDO**可选型号较少，一般用电荷泵负压芯片产生，输出务必做好滤波处理。



下面是输入特性

1.1、输入失调电压 (Input Offset Voltage) V_{os}

将运放的两个输入端接地，理想运放输出为零，但实际运放输出不为零。将输出电压除以增益得到的等效输入电压称为输入失调电压。

$$V_{os} = (V_+) - (V_-)$$

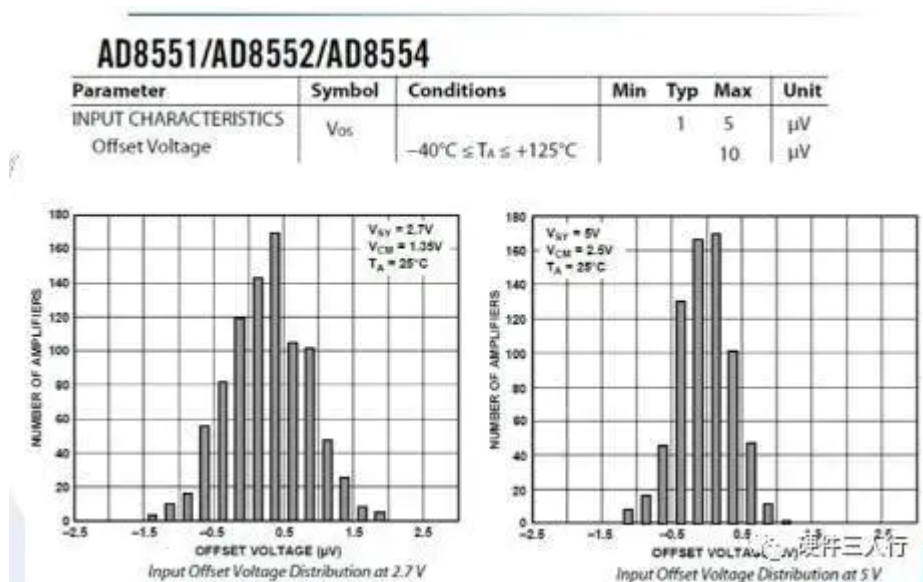
一般定义为运放输出为零时，两个输入端之间所加的补偿电压。该值反映了运放内部电路的对称性，对称性越好，输入失调电压越小。

高精度运放，内部补偿电路做的好,对称性好，相对来说就贵。

V_{os} （输入失调电压）越小，芯片价格就越贵。

那么我们是根据我们信号的特性来选择我们的运放，不一定所有的使用运放的地方都用高精度运放，要考虑到我们产品性价比，成本需要廉价。

下图是，运放的 V_{os} 参数图表：



一般给出一个典型值（常温下 25°C ），然后给出一个全温度的范围值。

一般来说我们做设计时我们要考虑的都是最大值（Max），并且是全温度的最大值，因为我们不能保证我们的产品工作在什么温度下并且全温度下已经考虑了温漂的影响。

V_{os} 是离散分布的，不同的个体，它的分布属于高斯分布（**正态分布**）的一个状态下。针对某一个芯片呢，它的 V_{os} 是固定的（同温度

下)，这个固定也是相对的，它会随着温度的变化而变化（这个就是由另一个参数体现的--输入失调电压的温漂）。

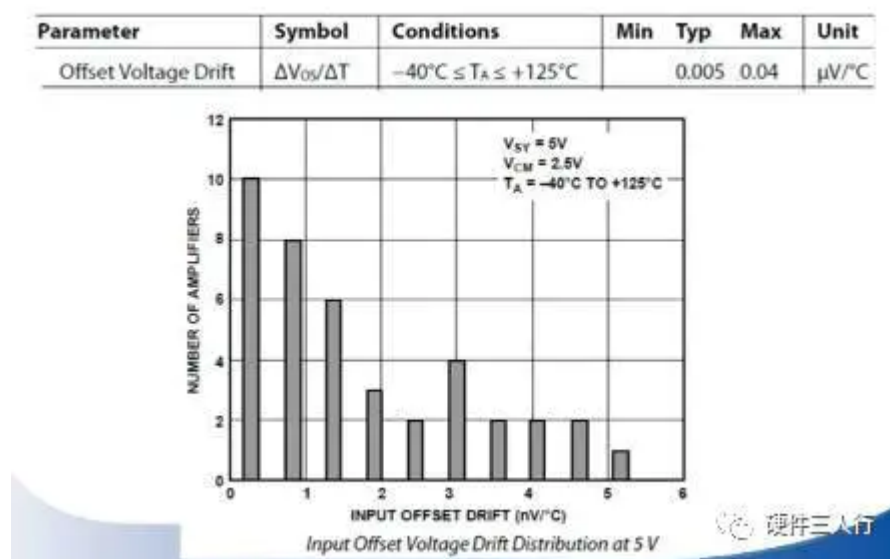
1.2、输入失调电压的温漂 (OffsetVoltage Drift)

输入失调电压的温漂又叫温度系数TCVOS，一般为数 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 输入失调电压的温度漂移（简称输入失调电压的温漂） a_{VIO} ：定义为在给定的温度范围内，输入失调电压的变化与温度变化的比值。

作为输入失调电压的补充，便于计算在给定的工作范围内，放大电路由于温度变化造成的输入失调电压漂移大小。

做的好的高精度运放，温度每升高一度，电压变化纳伏级别计算；一般的，温度每升高一度，电压升高变化微伏级别计算。

下面是一个运放的输入失调电压的温漂曲线表，如下：



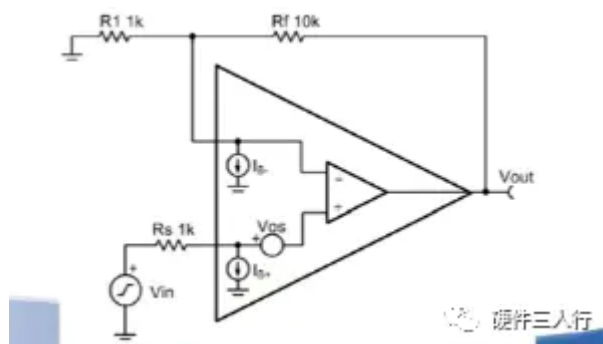
此参数也有典型值和最大值，那么我们计算的时候也按照最大值来计算。

1.3、输入偏置电流 (Input Bias Current) I_B

定义为当运放的输出直流电压为零时运放两输入端流进或流出直流电流的平均值。

输入偏置电流对进行高阻信号放大、积分电路等对输入阻抗有要求的地方有较大的影响。输入偏置电流与制造工艺有一定关系。

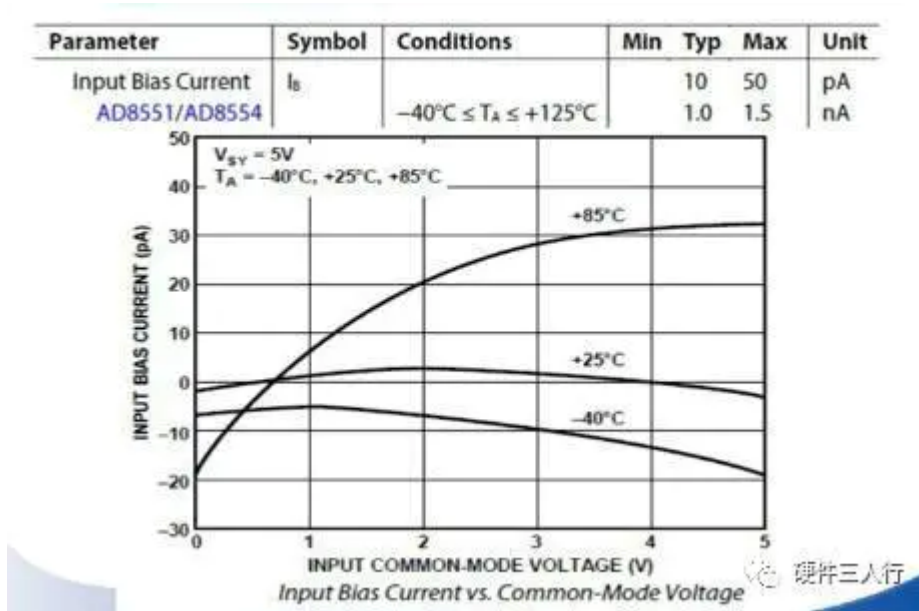
输入偏置电流对我们的源信号有影响，源信号的输出阻抗输出电流会有一部分进入运放或者说经过运放进入地回路，这部分就看电流 (I_B) 大小，如果过大就会对源信号有所影响，相当于对源信号的一个分压，那么我们可以利用一个电阻来计算一下它对源信号的一个影响。



I_B 的大小主要受制于制造工艺，好的工艺可以做到 pA 级别 (CMOS)，一般的工艺可以做到纳安级别。

那么上面这幅图呢，我们可以看到， I_B 是流入地的， V_{os} 是叠加在输入端的（可能是正或者负），正的话就是叠加在信号上，如果是负的话相当于在你的源信号上减去 V_{os} 。

所以呢好多人提到运放的时候都会问，运放是否线性。实际上运放是线性的，也就是说减去这个 V_{os} 或者叠加这个 V_{os} 之后是线性的。通过软件程序我们如果能把这个 V_{os} 扣除掉，那么可以看到这个信号是线性变化的。那么加上 V_{os} 其实呢也是线性变化的，只不过是时间轴上有个偏移。



上表我们可以看出，常温下呢，是pA级别，全文温度下呢是nA级别（偏差就比较大了）。也就是说这个参数受制于温度，那么我们在设计的时候，源信号阻抗方面我们一定要考虑这个 I_B 的影响，用这个 I_B 的最大值来考虑，也就是你这个源信号输出的带载能力（输出的电流）一定要能满足 I_B 的需要，因为 I_B 会分掉一部分。

| INPUT BIAS CURRENT | | | | | | | | |
|---|----------|--|--|-----------|----------|---|---|---|
| Input Bias Current | I_B | | | ± 2.5 | ± 10 | * | * | r |
| $T_A = -40^\circ\text{C to } +85^\circ\text{C}$ | | | | | ± 10 | * | * | r |
| Input Offset Current | I_{OS} | | | ± 2.5 | ± 10 | * | * | r |
| $T_A = -40^\circ\text{C to } +85^\circ\text{C}$ | | | | | ± 10 | * | * | r |

OPA227 的IB 与IOS

| INPUT BIAS CURRENT | | | | | |
|--------------------|----------------------|--|--|-----------|------------|
| I_B | Input bias current | $V_{CM} = V_S / 2$ | | ± 160 | ± 1400 |
| | | $T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$ | | | ± 8 |
| I_{OS} | Input offset current | | | ± 320 | ± 2800 |
| | | $T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$ | | | ± 4 |

OPA188的IB 与IOS

| INPUT BIAS CURRENT | | | | | |
|--------------------|----------------------|--|--|-----------|-----------|
| I_B | Input bias current | | | ± 70 | ± 200 |
| | | $T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$ | | ± 150 | |
| I_{OS} | Input offset current | | | ± 140 | ± 400 |

OPA333的IB 与IOS

| PARAMETER | CONDITION | OPA129PB, UB | | | OPA129P, U | | | UNITS |
|-----------|-----------|--------------|-----|-----|------------|-----|-----|-------|
| | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | |

fA 飞安级别的运放有 LMC6001, LMC6042A, LMC6062A, ICH8500A,

AD549LH, OPA128LM

计算公式: $I_B = [(I_{B+}) + (I_{B-})] / 2$

1.4、输入失调电流 (Input Offset Current) I_{OS}

输入失调电流定义为当运放的输出电流电压为零时, 其两输入端 (同相端 I_B 和反相端 I_B) 偏置电流的差值。输入失调电流同样影响了运放内部的电路对称性, 对称性好, 输入失调电流越小。

| Parameter | Symbol | Conditions | Min | Typ | Max | Unit |
|---------------------------------------|----------|--|-----|-----|-----|------|
| Input Offset Current AD8551/AD8554 | I_{OS} | $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ | 10 | 50 | 150 | pA |

这个参数呢其实是 I_B 参数的一个补充, 那其实通常来我们也不看它, 因为通过 I_B 参数就可以看出来。

1.5、共模电压输入范围 (Input Common-Mode Voltage Range)

V_{cm}

运放两输入端与地间能加的共模电压的范围。也就是运放的同相端和反相端能够施加的电压范围（输进来的电压范围）。

V_{cm} “包括”正、负电源电压时为理想特性。

所谓“Rail to Rail Input”就是指输入共模电压范围十分接近电源轨，一般可以高于负电源轨，而稍微低于正电源轨。

通常会听到轨对轨运放，轨对轨运放分轨对轨输入和轨对轨输出，所谓的轨对轨就是到电源轨。比如说运放5V供电，那么你的电源轨就是0和5V。如果你的运放供电是-5V、+5V，那你的电源轨就是-5V和5V。

理想情况下呢，轨对轨运放，它能够包括正负电源的供电电压，比如说你的供电是5V那么共模电压范围就是0-5V之间。

那轨对轨输入或输出，实际测量的时候还是有个差值存在，并不是真正的等于。刚才我们看到运放电路的内部结构，它内部也是MOS管或者场管，如果是MOS管那么你的导通 R_{DS} 肯定是有的，只要有 R_{DS} 就会有压差，这个压差会根据运放工艺而定，几个毫伏到几十个毫伏的误差（这几十毫伏之内我们也就认为是等于了）。这个误差有些场合还是要关注的，比如说我们单电源供电时，有些人想让这

个运放在输入0的时候，输出等于0，这是很难做到的（RDS（导通阻抗）在）。

如果应用上真的需要输入0输出为0的话，最好使用双电源供电。当然现在也有一些运放可以做到输出非常小。

下面是输出特性

输出特性中，输出的高电平、低电平、输出带载能力这里放在一起了。一般来说运放的带载能力都不是特别强，但是有些运放会做的很大，会把驱动能力做到几百个毫安；那我们常见的运放一般都是30毫安左右。带载能力越大，不管是原电流还是管电流都会导致输出电压偏移很大。有些运放会运用输出短路电流来表示，也就是你的输出直接接地，这个时候输出电流的最大电流，就是表示出来的短路电流（极限电流）。

1.6、输出动态范围特性（OutputCharacteristics）

既输出电压范围，所谓“Railto Rail Output”既轨对轨输出，输出Voh、Vol极为接近供电轨，但无法等于供电轨，会有几十mV的距离，也与负载有关。

1.7、输出电流特性（ShortCircuit Limit）

既运放的带载能力，一般会给出Sink、Source电流大小，也有运放只给出短路时的极限电流。

| Parameter | Symbol | Conditions | Min | Typ | Max | Unit |
|------------------------|----------|---|----------|----------|-----|------|
| OUTPUT CHARACTERISTICS | | | | | | |
| Output Voltage High | V_{OH} | $R_L = 100\text{ k}\Omega$ to GND | 2.685 | 2.697 | | V |
| | | $R_L = 100\text{ k}\Omega$ to GND @ -40°C to $+125^\circ\text{C}$ | 2.685 | 2.696 | | V |
| | | $R_L = 10\text{ k}\Omega$ to GND | 2.67 | 2.68 | | V |
| | | $R_L = 10\text{ k}\Omega$ to GND @ -40°C to $+125^\circ\text{C}$ | 2.67 | 2.675 | | V |
| Output Voltage Low | V_{OL} | $R_L = 100\text{ k}\Omega$ to V_+ | | 1 | 10 | mV |
| | | $R_L = 100\text{ k}\Omega$ to V_+ @ -40°C to $+125^\circ\text{C}$ | | 2 | 10 | mV |
| | | $R_L = 10\text{ k}\Omega$ to V_+ | | 10 | 20 | mV |
| | | $R_L = 10\text{ k}\Omega$ to V_+ @ -40°C to $+125^\circ\text{C}$ | | 15 | 20 | mV |
| Short-Circuit Limit | I_{SC} | | ± 10 | ± 15 | | mA |
| Output Current | I_O | -40°C to $+125^\circ\text{C}$ | | ± 10 | | mA |
| | | | | ± 10 | | mA |

上表是输出特性参数值 (AD855X)

高电平输出 (O_{vh}) 直接挂100K负载, 那么输出电压最小值, 2.685V, 可以看出供电电压是2.7V的, 压降很小很小。不同的负载和温度环境, 会把这个高电平拉下来是不一样的。

低电平输出 (O_{vl}) 直接挂100K负载, 外运放用作比较器或者输入0的时候, 输出的最大值有10个毫伏的差异, 也就是说不会真正输出0, 这个已经做的不错了, 全温度下也是10毫伏。

I_{SC} 短路情况下的极限电流, 10毫安, 也是比较小的。输出带载能力我们只能看最小值。

I_O 常温情况下10毫安, 也就是源电流和灌电流就是10毫安。全温度下是5毫安。

通过这个表我们看出, 做设计时我们不能指望运放能驱动多强的负载。只能说流进这个运放多强的电流。

下面是交流特性

1.8、压摆率 (SlewRate) SR

也叫转换速率；其定义为：运放接成闭环条件下，将一个大信号（含阶跃信号）输入到运放的输入端，从运放的输出端测运放的输出上升速率。

由于在转换期间，运放的输入级处于开关状态，所以运放的反馈回路不起作用，也就是转换率与闭环增益无关。

信号从某个状态变为另一个状态的时候所用的时间，也就是上升的速率是多少。

在处理交流信号或者把运放当比较器的时候我们会考虑这个参数。

压摆率越大，对应运放的带宽也就越高。也就是说压摆率与增益带宽积是相匹配的一个参数。增益带宽积大的（高运放）它对应的压摆率也要很快的，要不然处理频率比较高的信号反映不过来。上升有一个上升沿，下降有一个下降沿，这两部分就会消耗掉一部分频率时间。

计算公式为： $SR \geq 2\pi f \cdot V_{om}$ V_{om} 为输出电压幅值 单位V

f的单位为MHz代入

如：把一个电压最大值为1V，频率为1MHz的正弦波放大6倍，应选用SR为多大的运放？

$$SR=2*3.14*1*6=37.68$$

1.9、增益带宽积（GainBandwidth Product） GBP

单位增益带宽定义为，运放的闭环增益为1倍条件下，将一个恒幅正弦小信号输入到运放的输入端，从运放的输出端测得闭环电压增益下降3db（或是相当于运放输入信号的0.707）所对应的信号频率。（测试的时候输入恒幅正弦1V1KHz的信号，我们测输出端，当输出端电压值下降到0.707的时候，那么运放输入端的频率就是运放的增益带宽积了，从1KHz逐渐增大，那么输出端的频率值在逐渐下降，也就是受制运放的增益带宽积已经反应不过来了，信号的输出幅值就会逐步下降，当下降到3db的时候（0.707时候），输入端的频率就是运放增益带宽积）

这个是我们处理交流信号非常重要的一个参数，通过这个参数我们来设置信号的单级放大倍数（单级放大倍数不能太大，如果太大输出信号幅值跟增益就不一样了），实际上它是增益和输入信号的频率它们两个是相关的，就是输入信号的频率乘以增益那么就受制于GBP这个参数，这个乘积不能大于GBP，这个乘积实际上我们在运用的时候呢一定要远远小于GBP。

公式为： $GBP \geq (10-100) * gain * f$ **其中gain为放大倍数 f单位为MHz代入**

1.10、开环增益 (Open-Loop Voltage Gain) A_{ol}

定义为当运放工作于线性区时，运放输出电压于差模输入电压的比值

由于差模开环直流电压增益很大，大多数运放的差模开环直流电压增益一般在数万倍或更多，用数值直接表示不方便比较，所以一般采用分贝方式记录和比较。

理想运放的开环增益为无穷大，实际运放一般在80dB~150dB。

这个也是处理交流信号比较重要的参数。这个参数越大越好，越大那么我们设置单级放大倍数可以大一些。

常规的运放一般都是在80dB~150dB之间，150dB都很少见，一般都是80dB。



增益设置在三角形区域内是比较安全的。

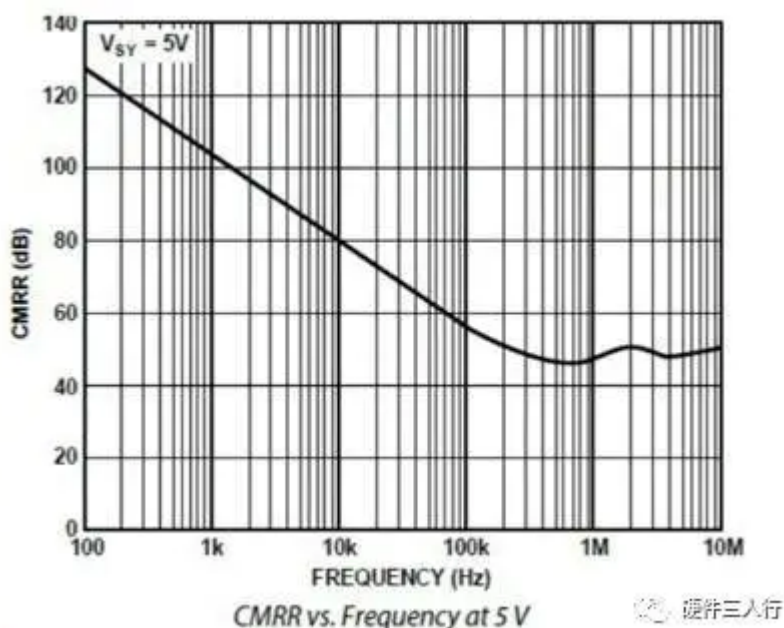
1.11、共模信号抑制比 (CommonMode Rejection)

共模抑制比定义为当运放工作于线性区时，运放差模增益 (A_V) 与共模增益 (A_{VC}) 的比值。即在运放两输入端与地间加相同信号时，输入、输出间的增益称为共模电压增益 A_{VC} ，则

$$CMRR = A_V / A_{VC}$$

共模抑制比是一个极为重要的指标，它能够抑制共模输入的干扰信号。

这个参数我们希望越大越好，值越大，那么运放抑制共模干扰就越强。越大越贵。



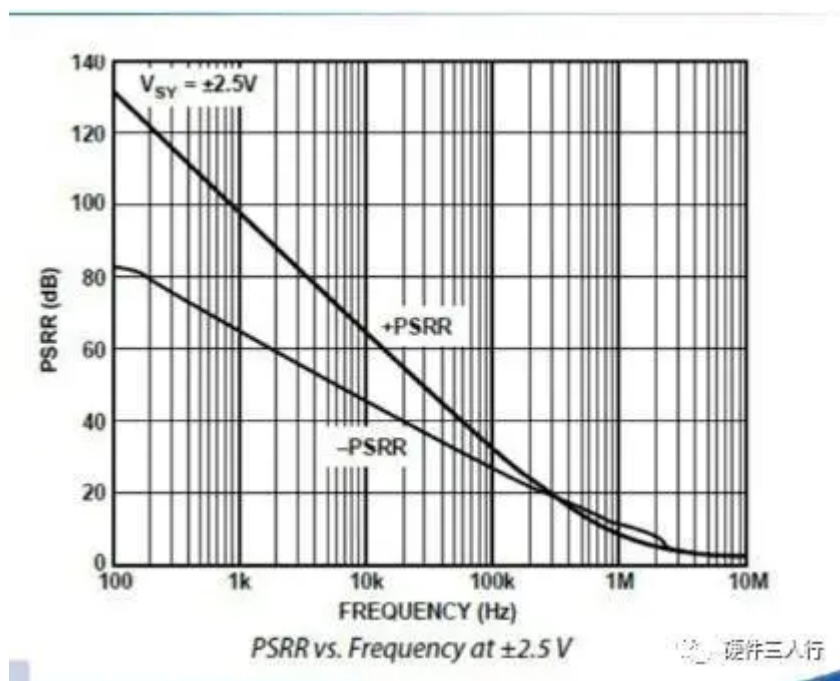
频率越高，共模抑制比就越小。

1.12、电源纹波抑制比 (Supply Voltage Rejection)

定义为当运放工作于线性区时，运放输入失调电压随电源电压的变化比值。即正、负电源电压变化时，该变化量出现在运放的输出中，并将其换算为运放输入的值。

若电源变化 ΔV_s 时等效输入换算电压为 ΔV_{in} 则 $PSRR = \Delta V_s / \Delta V_{in}$

电源电压抑制比反映了电源变化对运放输出的影响。



这个参数越大越好。这个值随频率越高，那么它的值也就越低。

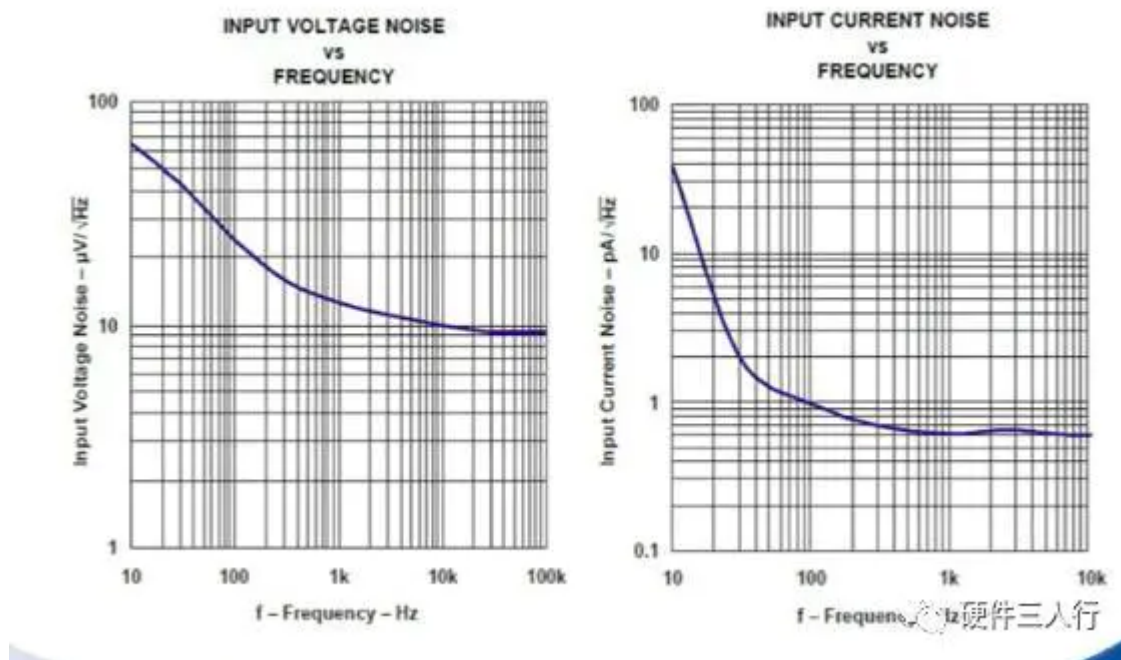
1.13、噪声密度 (Noise Density)

运放本身内部电路也固有存在的噪声，分为电压噪声和电流噪声。

通常规格书中都以 $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 和 $\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ 来表示，也就是与频率相关的一个指标。（频率越低这个指标越高，频率越高这个指标就越小）

参数越小，运放自身引入到系统的噪声也越小。

处理交流信号，尤其处理音频信号时非常关注的一个参数（选择这个参数小的）。这个参数是运放本身所固有的参数。



左边是电压噪声密度，右边是电流噪声密度。

那么上面这写的就是我们运放所要关注的基本参数，当然你要看运放规格书还有很多参数，例如输入阻抗、输出阻抗、输入电容等

这些参数（大厂会提供,不给呢也没什么影响）。

2、极限参数

※ Supply Voltage (V_S) (供电最大电压)

※ Input Voltage (共模输入电压)

※ Differential Input Voltage (差模输入电压)

※ Operating Temperature Range (工作温度范围，这个温度是环境温度的2倍)

※ Input Current (输入电流，很多运放会不提供)

※ ESD Susceptibility (静电等级，人体静电放电模式 (hbm) 和机器模式放电模式 (mm) 和芯片自身放电模式 (ctm 芯片内部对外的放电模式))

SGM8251/2

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| | |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| Supply Voltage | 40V |
| Input Voltage | $(-V_S) - 0.3V$ to $(+V_S) + 0.3V$ |
| Differential Input Voltage | -15V to +15V |
| Storage Temperature Range | -65°C to +150°C |
| Junction Temperature | 150°C |
| Lead Temperature (Soldering 10 sec) | 260°C |
| ESD Susceptibility | |
| HBM | 3000V |
| MM | 300V |
| CDM | 1000V |

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

| | |
|-----------------------------|-----------------|
| Input Voltage Range | 4.5V to 36V |
| Operating Temperature Range | -40°C to +125°C |

ADA4051-1/2

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 4.

| Parameter | Rating |
|---|------------------------|
| Supply Voltage | 6 V |
| Input Voltage | $\pm V_{SY} \pm 0.3 V$ |
| Input Current ¹ | $\pm 10 \text{ mA}$ |
| Differential Input Voltage ² | $\pm V_{SY}$ |
| Output Short-Circuit Duration to GND | Indefinite |
| Storage Temperature Range | -65°C to +150°C |
| Operating Temperature Range | -40°C to +125°C |
| Junction Temperature Range | -65°C to +150°C |
| Lead Temperature (Soldering, 60 sec) | 300°C |

这个两份规格说明书中对极限参数的描述。

TI放大器的命名规律

运算放大器

- OPAxxx: Operational Amplifiers 包括精密运放, 高速运放;
- THSxxx: High-Speed Amplifiers 与OPA中的高速运放的差别: 电压范围更宽
- TLV/TLC/TLE 运放: TLV(2.7-16V, CMOS), TLC(5-16V, CMOS), TLE(宽电压);
NJC 通用/高速比较器, 以及ADC/DAC
- BUFxxx: 缓冲器

仪表放大器

- INAxxx: Instrumentation, Difference, and Current Sensing Amplifiers

增益可控放大器

- PGAxxx: Digital Programmable Gain Amplifier, 10MHz以下
- VCAxxx: Voltage Controlled Amplifier, IF 宽带放大衰减

音频放大器

- TPA/TASxxx: 音频功放/处理, class AB & class D

特殊功能放大器

- XTRxxx: 4-20mA 发射器; RCVxx: 4-20mA 接收器
- LOGxxx: 对数放大器
- IVCxxx: 积分放大器
- DRVxxx: 驱动放大器 (PWM, 线路驱动等)

TAMU UNIVERSITY

到此本章内容结束!