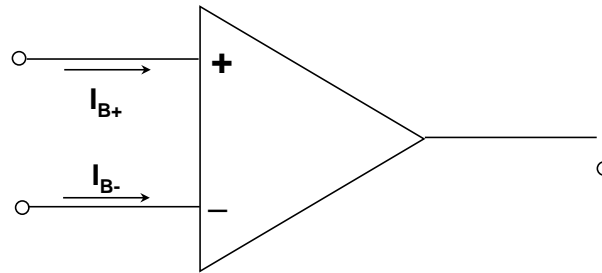


## 运算放大器输入偏置电流

### 输入偏置电流定义

理想情况下，并无电流进入运算放大器的输入端。而实际操作中，始终存在两个输入偏置电流，即 $I_{B+}$ 和 $I_{B-}$ (参见图1)。



- ◆ A very variable parameter!
- ◆  $I_B$  can vary from 60 fA (1 electron every 3  $\mu$ s) to many  $\mu$ A, depending on the device.
- ◆ Some structures have well-matched  $I_B$ , others do not.
- ◆ Some structures'  $I_B$  varies little with temperature, but a FET op amp's  $I_B$  doubles with every 10°C rise in temperature.
- ◆ Some structures have  $I_B$  which may flow in either direction.

**图1：运算放大器输入偏置电流**

$I_B$ 的值大小不一，在静电计[AD549](#)中低至60 fA(每三毫秒通过一个电子)，而在某些高速运算放大器中可达数十微安。运算放大器采用由双极性结型晶体管(BJT)或FET长尾对构成的简单输入结构时，偏置电流为单向流动。而采用更为复杂的输入结构时(如偏置补偿和电流反馈运算放大器)，偏置电流可能是两个或以上内部电流源之间的差分电流，且可能是双向流动。

对运算放大器用户来说，偏置电流是个问题，因为当其流过外部阻抗时会产生电压，进而导致系统误差增加。以1 M $\Omega$ 源阻抗驱动同相单位增益缓冲器为例，如果 $I_B$ 为10 nA，则会额外引入10 mV的误差。这种误差度在任何系统中都不容忽略。

或者，如果设计人员完全忘记考虑 $I_B$ 并且采用容性耦合，那么电路将根本不能工作！或者，如果 $I_B$ 足够小，那么电路或许能在电容充电期间短暂工作，结果导致更多的问题。因此，我们应当明白，任何运算放大器电路中都不能忽略 $I_B$ 的影响，仪表放大器电路中亦是如此。

## 输入失调电流

“输入失调电流” $I_{OS}$ 是 $I_{B-}$ 和 $I_{B+}$ 之差，即 $I_{OS} = I_{B+} - I_{B-}$ 。另请注意，两个偏置电流首先必须基本上具有相当良好的匹配性， $I_{OS}$ 才有意义。多数电压反馈(VFB)型运算放大器都是如此。不过，针对电流反馈(CFB)型运算放大器等来谈 $I_{OS}$ 就没什么意义，因为这两个电流完全不匹配。

需要注意的是，对于由两个并联级构成的轨到轨输入级，当共模电压经过跃迁区时，偏置电流方向会发生改变。因此，这类器件的偏置电流和失调电流尤其难以标定，根本不可能简单地给出最大正值/负值。

## 内部偏置电流消除电路

如果通过内部电流源提供该必要的偏置电流，如下文图2所示，那么基极电流与电流源之间的差分电流将是流入输入端的唯一“外部”电流，它可能相当小。

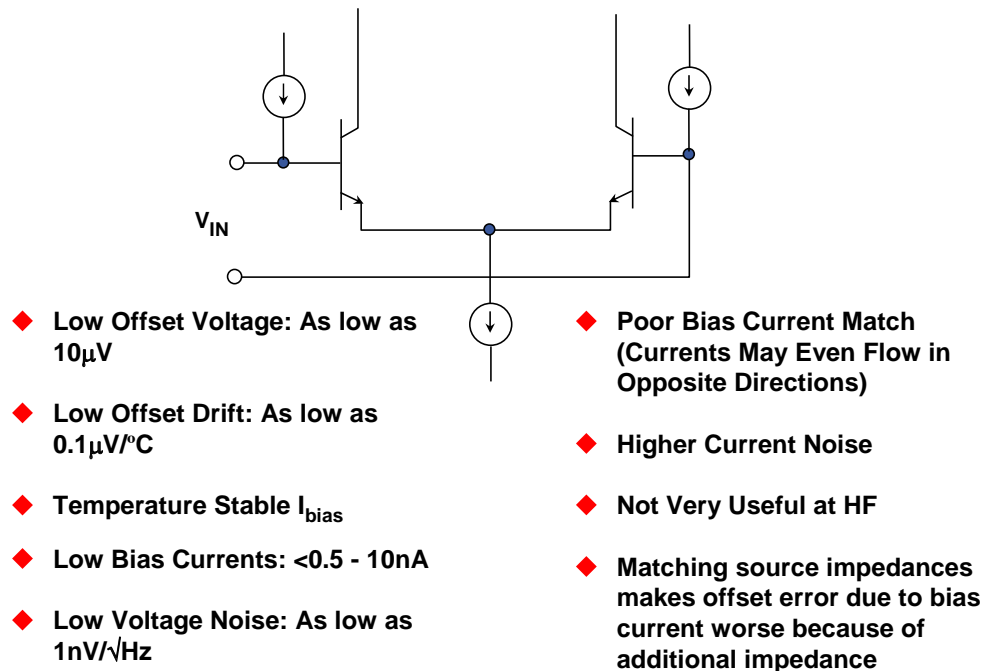


图2：偏置电流补偿双极性输入级

多数现代精密双极性输入级运算放大器都会采用某种方式的内部偏置电流补偿，大家熟悉的OP07和OP27系列就是如此。

偏置电流补偿输入级具有简单双极性输入级的许多优良特性，例如：低电压噪声、低失调电压和低漂移。此外，它还提供具有相当温度稳定性的低偏置电流。但是，其电流噪声特性不是非常好，而且偏置电流匹配较差。

后两个副作用源于外部偏置电流，它是补偿电流源与输入晶体管基极电流的“差值”。这两个电流不可避免地具有噪声。由于无相关性，两个噪声以方和根形式相加(但直流电流采用减法)。

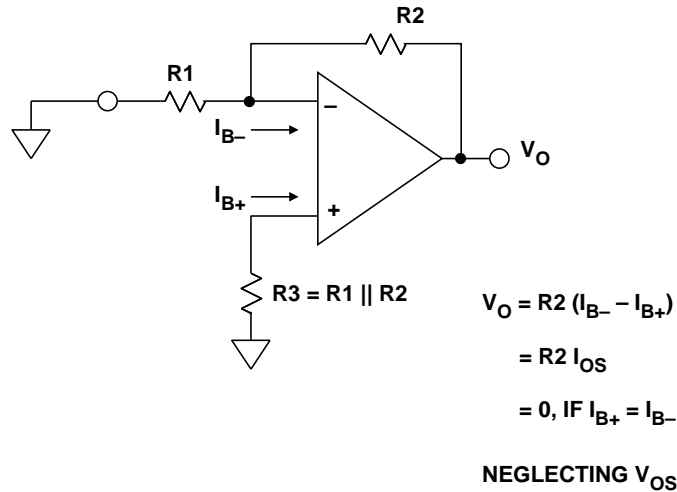
所产生的外部偏置电流为两个近乎相等的电流之差，因此净电流的极性是不确定的。所以，偏置补偿运算放大器的偏置电流可能不仅不匹配，而且有可能反向流动！多数应用中这点并不重要，但在有些应用中却会产生无法预料的影响(例如，在用偏置补偿运算放大器构建的采样保持(SHA)电路中，压降可能具有两种极性之一)。

许多情况下，运算放大器的数据手册中没有提到偏置电流补偿特性，而且不会提供原理示意图。通过检查偏置电流规格，很容易确定是否采用了偏置电流补偿。如果偏置电流用“±”值表示，则运算放大器非常有可能对偏置电流进行了补偿。注意，通过检查“失调电流”规格(偏置电流之差)，很容易验证这一点。如果存在内部偏置电流补偿，则失调电流的幅度与偏置电流相同。如果没有偏置电流补偿，则失调电流一般比偏置电流至少低10倍。注意，无论偏置电流的确切幅度是多少，上述关系一般都成立。

如前所述，对于轨到轨输入级，当共模电压经过交越区时，偏置电流方向会发生改变。因此，这类器件的偏置电流和失调电流尤其难以指定，根本不可能简单地给出最大正值/负值。

### 消除偏置电流影响(运算放大器外部)

当运算放大器的偏置电流匹配良好时(如前所述，就像简单的双极性输入级运算放大器那样，但“不”包括内部偏置补偿运算放大器)，偏置补偿电阻 $R_3$  ( $R_3=R_1\parallel R_2$ )会在同相输入中引入压降，以便与反相输入中 $R_1$ 和 $R_2$ 并联组合上的压降匹配并实现补偿。这样可以最大程度地减少额外的失调电压误差，如图3所示。注意，如果 $R_3$ 大于1 k $\Omega$ ，则应使用电容进行旁路，以免噪声影响。另请注意，当偏置电流匹配不佳时，这种消除偏置方式毫无用处，事实上会更糟。

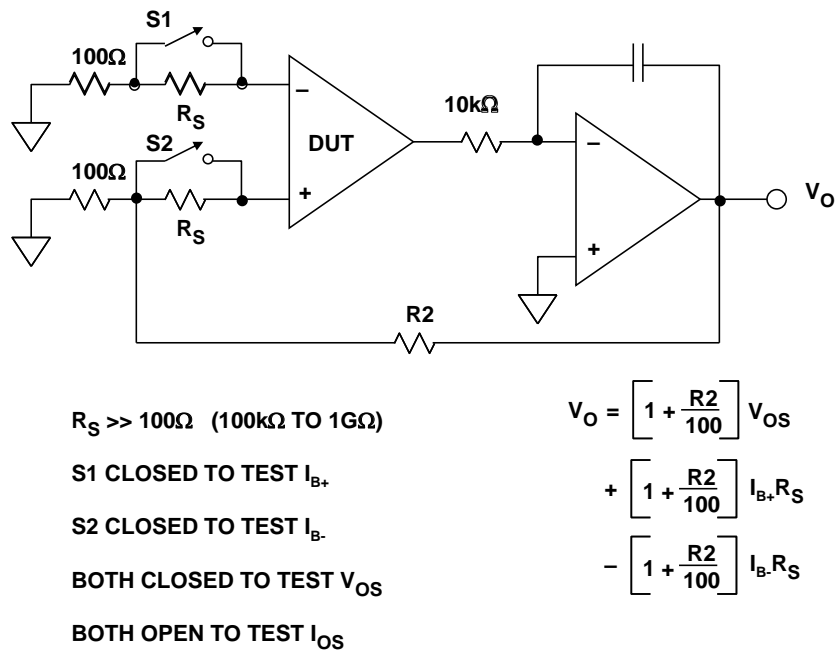


**图3: 消除应用中的输入偏置电流影响**

**测量输入失调电流和输入偏置电流**

可以利用图4中的测试电路来测量输入偏置电流(或输入失调电压)。要测量 $I_B$ ，应插入大电阻 $R_S$ 与待测输入端串联，从而产生大小等于 $I_B \times R_S$ 的显著额外失调电压。如果之前已经测量并记录实际的 $V_{OS}$ ，则可以确定因 $R_S$ 变化而导致的 $V_{OS}$ 明显变化，进而可以轻松计算出 $I_B$ 。这样即可得出 $I_{B+}$ 和 $I_{B-}$ 的值。 $I_B$ 的额定值是这两个电流的平均值，即 $I_B = (I_{B+} + I_{B-})/2$ 。

通常，有效 $R_S$ 值的变化范围为100 kΩ(双极性运算放大器)至1000 MΩ(某些FET输入器件)。



**图4: 测量输入偏置电流**

对于极低的输入偏置电流，则必须采用积分技术来测量。具体方法是利用所考虑的偏置电流给电容充电，然后测量电压变化速率。如果电容和一般电路泄露可以忽略不计(电流小于10 fA时，很难测量)，则可直接根据测试电路的输出变化速率计算出该电流。基本原理如下面图5所示。断开一个开关，闭合另一个开关，可以分别测得 $I_{B+}$ 或 $I_{B-}$ 。

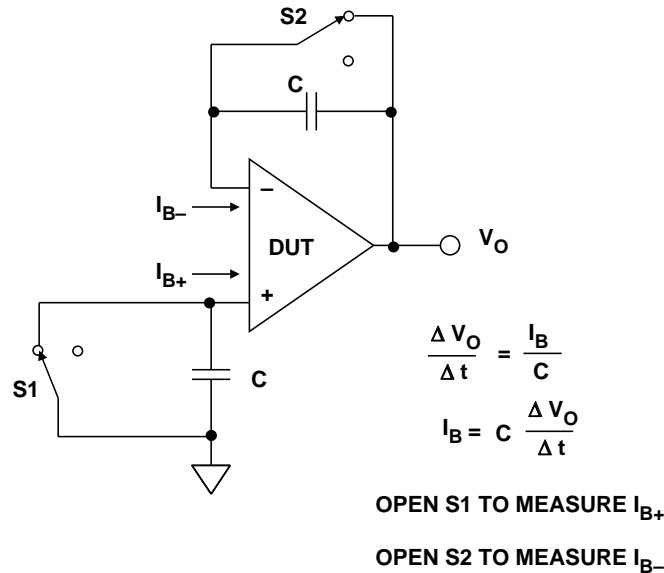


图5：测量极低的偏置电流

很明显，C只可使用高品质的电容电介质，如特氟龙或聚丙烯等类型。

### 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.
- 3.

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.