

# 在单端应用中采用差分 I/O 放大器

◆ 凌力尔特公司/Glen Brisebois

## 引言

最近在低压硅锗和 BiCMOS 工艺技术领域的进步已经允许设计和生产速度非常高的放大器了。因为这些工艺是低压的，所以大多数放大器的设计都纳入了差分输入和输出，以恢复并最大限度地提高总的输出信号摆幅。既然很多低压应用是单端的，那么问题就出现了，“我怎样才能在一个单端应用中使用差分 I/O 放大器？”以及“这么使用可能产生什么结果？”本文探讨一些实际产生的结果，并展示一些具体的、使用 3GHz 增益-带宽差分 I/O 放大器 LTC6406 的单端应用。

## 背景

常规运算放大器有两个差分输入和一个输出。虽然增益的标称值是无穷大的，但是可通过从输出到负“反相”输入的反馈来保持对增益的控制。输出不会达到无穷大，但是差分输入可以保持为零（如同除以无穷大了一样）。常规运算放大器应用的实用性、种类和优点已经有很丰富的记录了，但似乎仍然不能穷尽。全差分运算放大器一直研究得不够彻底。

图 1 显示了一个具有 4 个反馈电阻器的差分运算放大器。在这种情况下，差分增益的标称值仍然是无穷大，输入通过反馈连接到一起，但是这不足以决定输出电压。理由是，共模输出电压可以是任意值，却仍然能导致为“零”的差分输入电压，因为反馈是对称的。因此，就任何全差分 I/O 放大器而言，始终存在另一个决定输出共模电压的控制电压。这就是  $V_{OCM}$  引脚的目的，也解释了为什么全差分放大

器器件至少有 5 个引脚（不包括电源引脚）而不是 4 个引脚。差分增益的等式为  $V_{OUT(DM)} = V_{IN(DM)} \bullet R2/R1$ 。共模输出电压从内部强制等于加到  $V_{OCM}$  上的电压。一个最终的结论是，不再存在单个反相输入：两个输入都是反相和非反相的，视所考虑的是哪一个输出而定。为方便电路分析，按照常规方法以“+”和“-”来标记两个输入，而一个输出带有圆点标记，表明它是“+”输入的反相输出。

任何熟悉常规运算放大器的人都知道，非反相应用在非反相输入端有固有的高输入阻抗，接近  $G\Omega$  甚至  $T\Omega$ 。但是在图1所示的全差分运算放大器这种情况下，存在到两个输入的反馈，因此不存在高阻抗节点。这个困难可以很幸运地克服掉了。

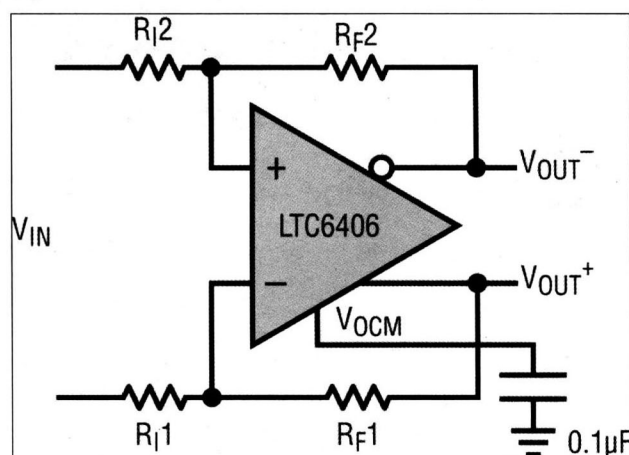


图1：有两个输出和一个额外的  $V_{OCM}$  引脚的全差分 I/O 放大器

## 全差分运算放大器简单的单端连接

图2显示了连接成单端运算放大器的 LTC6406。仅有一个输出被反馈回去，而且仅有一个输入接收反馈。其他输入现在是高阻抗的。

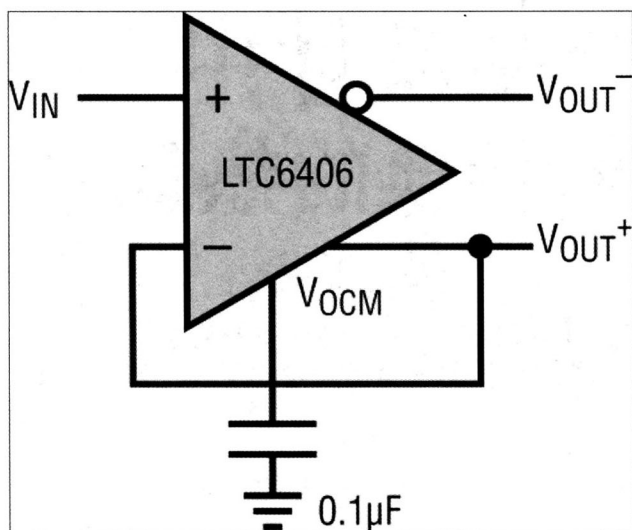


图2：反馈仅是单端的。这个电路是稳定的，具有一个常规运算放大器那样的高阻抗输入。闭环输出（在这种情况下是  $V_{OUT+}$ ）是低噪声的。从闭环输出端能很好地得到单端输出，从而提供了 1.2GHz 的 3dB 带宽。开环输出（ $V_{OUT-}$ ）相对于  $V_{OCM}$  具有 2 倍的噪声增益，但是直到约 300MHz 都表现良好，高于这个频率以后，会有极大的通带纹波。

LTC6406 在这个电路中工作得很好，而且仍然能提供一个差分输出。然而，一个简单的试验揭示出

了这种配置的缺点之一。设想所有的输入和输出都为 1.2V，包括  $V_{OCM}$ 。现在再设想，驱动  $V_{OCM}$  引脚，使其额外增高 0.1V。可能有变化的惟一输出是  $V_{OUT-}$ ，因为  $V_{OUT+}$  必须保持等于  $V_{IN}$ ，因此为了将共模输出升高 100mV，放大器不得不将  $V_{OUT-}$  输出总共提高 200mV。这就是由 100mV  $V_{OCM}$  漂移引起的 200mV 差分输出漂移。这说明了以下事实：全差分放大器的单端反馈从  $V_{OCM}$  引脚到“开路”输出引入了 2 倍的噪声增益。为了避免这种噪声，只是不使用这个输出就可以了，从而产生一个彻底的单端应用。或者，还可以采用轻微的噪声补偿，并同时使用两个输出。

### 单端跨阻放大器

图3显示，LTC6406 连接成了具 20kΩ 跨阻抗增益的单端跨阻放大器。BF862 JFET 缓冲 LTC6406 的输入，从而极大地减轻了其双极型输入晶体管电流噪声的影响。JFET 的  $V_{GS}$  作为失调来考虑，但它的

典型值为 0.6V，因此该电路在 3V 单电源时仍然能很好地工作，而且该失调可以用 10k 电位器去掉。时域响应如图4所示。在 20MHz 带宽上的总输出噪声在  $V_{OUT+}$  端为 0.8mVRMS，而在  $V_{OUT-}$  端为 1.1mVRMS。以差分方式计算，跨阻抗增益为 40kΩ。

### 结论

LTC6406 等新的全差分运算放大器系列提供了前所未有的带宽。幸运的是，这些运算放大器还可以在单端应用及 100% 反馈应用中很好地工作。CTC

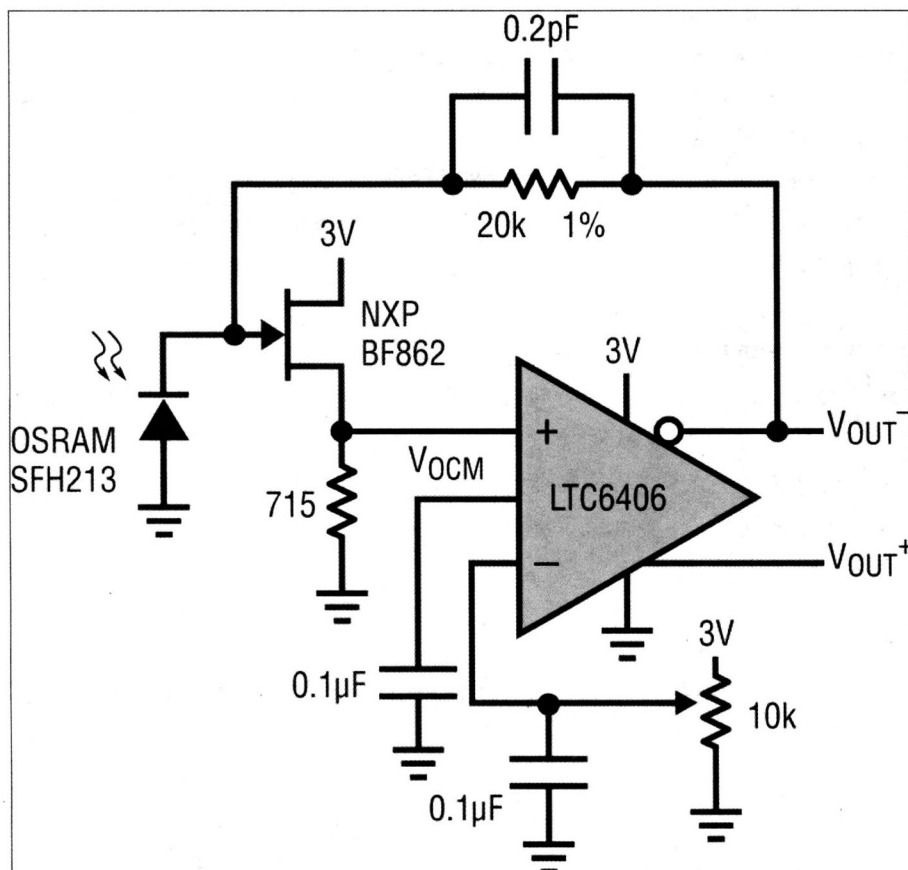


图3：跨阻放大器。超低噪声 JFET 缓冲双极型 LTC6406 输入的电噪声，在没有任何线索的情况下试着微调电位器，以获得 0V 差分输出。