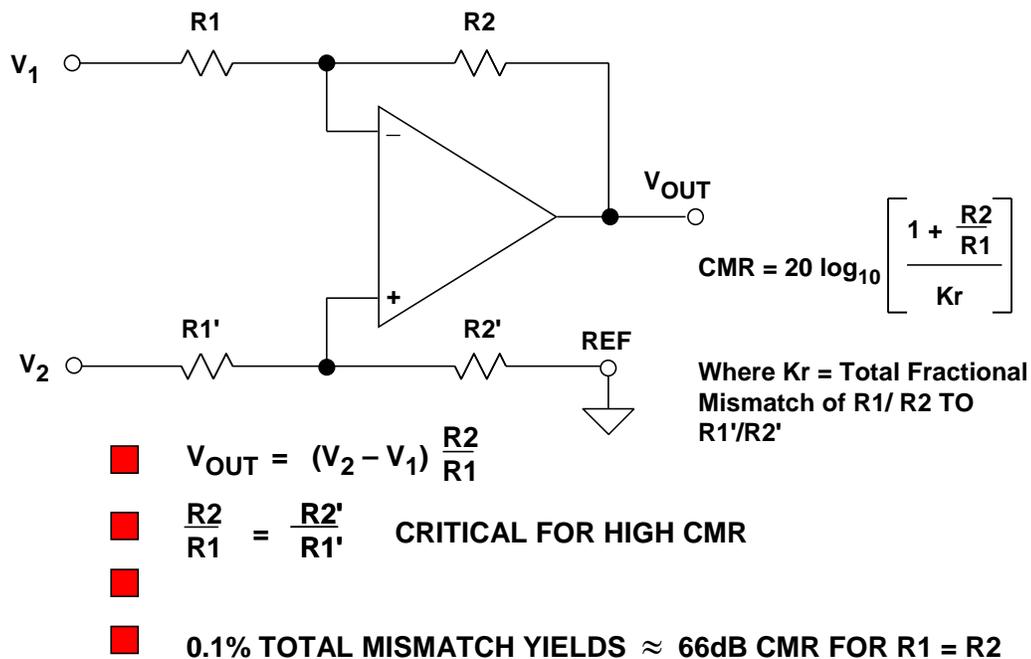


## 差动放大器和电流检测放大器

### 基本减法器或差动放大器

简单的减法器或差动放大器可由四个电阻和一个运算放大器组成，如下图1所示。必须注意，这不是一个仪表放大器(见[指南MT-061](#))，但常用于只需简单的差分至单端转换的应用中，如电流检测。



**图1: 运算放大器减法器或差动放大器**

这个简单电路存在几个基本问题。首先，从 $V_1$ 和 $V_2$ 获得的输入阻抗不平衡。从 $V_1$ 获得的输入阻抗为 $R_1$ ，从 $V_2$ 获得的输入阻抗则为 $R_1' + R_2'$ 。就共模抑制而言，配置也可能出现问题，因为即使是很小的源阻抗不平衡也会降低可用的共模抑制。采用和每个输入串联且匹配良好的开环缓冲器可以解决该问题(例如，采用精密双通道运算放大器)。但是，这会增加简单电路的复杂性，还可能会导致失调漂移和非线性。

该电路的第二个问题是共模抑制主要由电阻比匹配决定，而非运算放大器。电阻比 $R_1/R_2$ 和 $R_1'/R_2'$ 必须与抑制共模噪声严格匹配，至少与典型运算放大器的共模抑制相当( $\geq 100$  dB)。还应注意，电阻绝对值相对而言不太重要。

从一批电阻中选择四个1%的电阻可能会产生0.1%的净电阻比匹配，使共模抑制达到66 dB（假设 $R_1 = R_2$ ）。但是如果其中一个电阻和其它电阻相差1%，共模抑制可能会下降至仅46 dB。显然，该电路采用普通分离电阻所获得的性能非常有限（不采用手动匹配）。因为最好的标准现成RNC/RNR型电阻的容差约为0.1%。

一般而言，这种电路最差情况下的共模抑制可通过下式计算：

$$\text{CMR}(\text{dB}) = 20 \log \left[ \frac{1 + R_2 / R_1}{4K_r} \right], \quad \text{等式 1}$$

其中 $K_r$ 是小数形式的单电阻容差，此时采用4个分立电阻。上式显示，4个未选中的相同标称值的1%电阻容差增大时，最差情况下的共模抑制不会优于34 dB。

该电路可能会采用净匹配容差为 $K_r$ 的单电阻网络，此时表达式如图所示，即：

$$\text{CMR}(\text{dB}) = 20 \log \left[ \frac{1 + R_2 / R_1}{K_r} \right] \quad \text{等式 2}$$

用公式2计算，假定 $R_1 = R_2$ ，电阻比的净匹配容差为0.1%时，可得出最差情况的直流共模抑制为66 dB。注意，两种情况均假定较高的放大器共模抑制（即>100 dB）。显然，对高共模抑制而言，此类电路需要四个具有极高绝对值及温度系数匹配的单基板电阻。此类网络采用厚/薄膜技术，Caddock和Vishay公司均可提供，比率匹配0.01%或更佳。

采用简单差动放大器时，为了不增加精密运算放大器的成本、限制PCB面积及产生单独电阻网络，通常最好能找出完整的单芯片解决方案。[AMP03](#)就是这样一款精密差动放大器，其中包括片内激光调整精密薄膜电阻网络。如下图2所示。AMP03F典型的共模抑制为100 dB，小信号带宽为3 MHz。

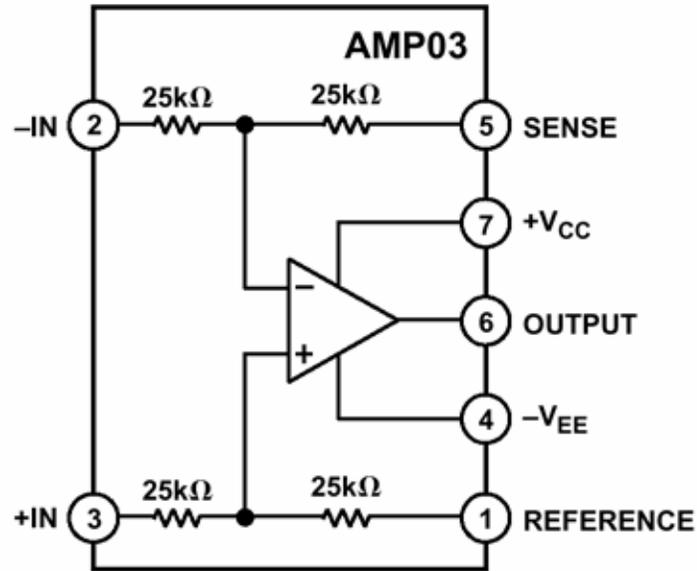
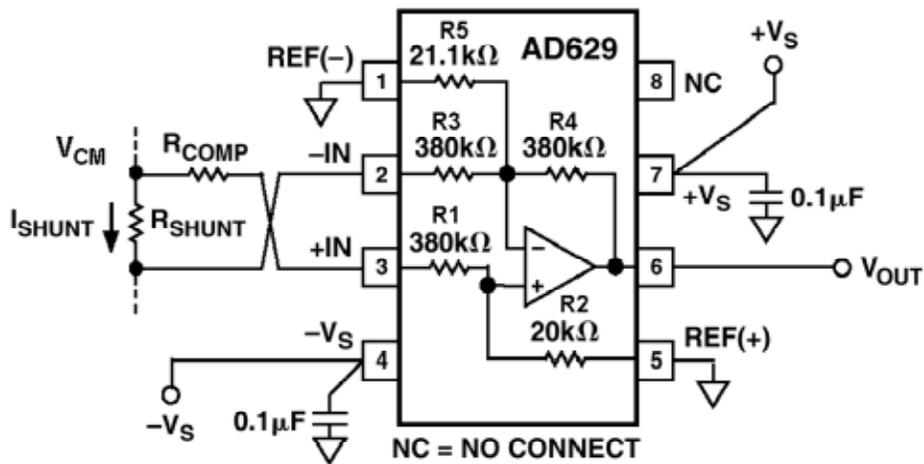


图2: AMP03精密差动放大器

简单的放大器还有一点值得关注，可以在AD629差动放大器中看到，这款放大器针对高共模输入电压进行了优化，典型的电流检测应用如下图3所示。AD629是一款单位增益差分转单端放大器，可以处理±270 V的共模电压，电源电压为±15 V，小信号带宽为500 kHz。



$$V_{CM} = \pm 270V \text{ for } V_S = \pm 15V$$

图3: 采用AD629差动放大器的高共模电流检测

采用R1-R2分压器网络将同相输入(引脚3)衰减20倍,可以获得高共模电压范围。对于反相输入则选用电阻R5,使 $R5||R3$ 等于电阻R2。电路的噪声增益等于 $20 [1 + R4/(R3||R5)]$ ,从而为差分输入电压提供单位增益。通过对R1-R5薄膜电阻进行激光晶圆调整,可使AD629B的最小共模抑制达到86 dB (500 Hz)。在应用中,最好的做法是使两个输入的源阻抗保持平衡,因此选用虚拟电阻 $R_{COMP}$ 来平衡分流检测电阻 $R_{SHUNT}$ 的阻值。

### 基于差动放大器的电流检测应用

差动放大器通常用于电流检测应用。图4所示为专门针对汽车应用而优化的AD8202差动放大器的框图。

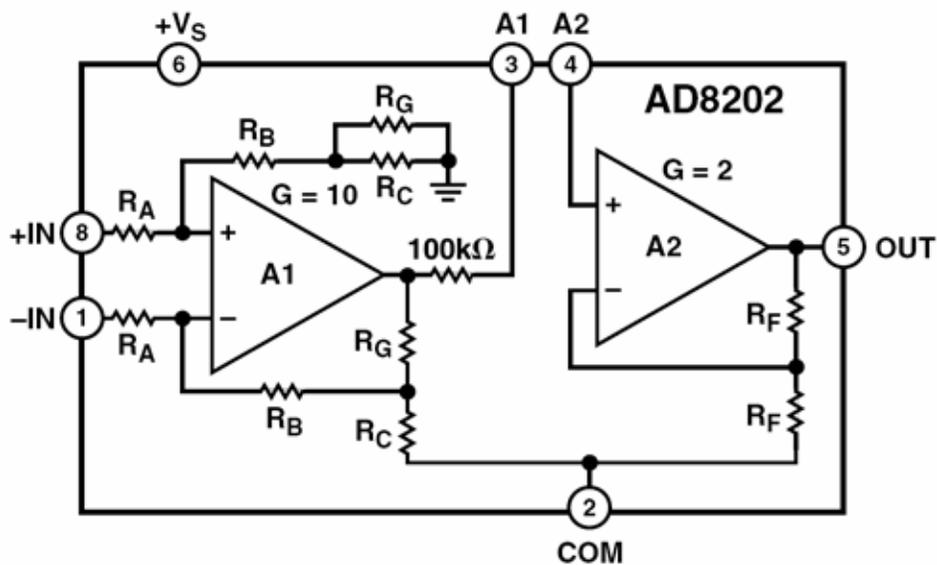
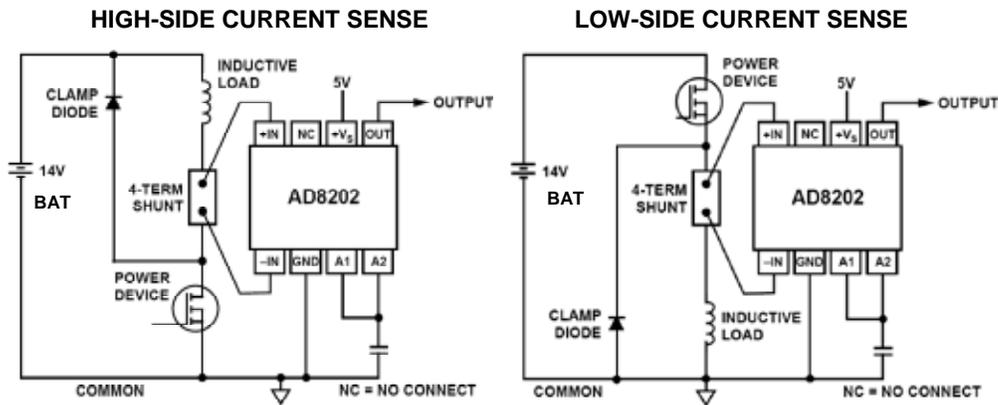


图4: AD8202电流检测差动放大器

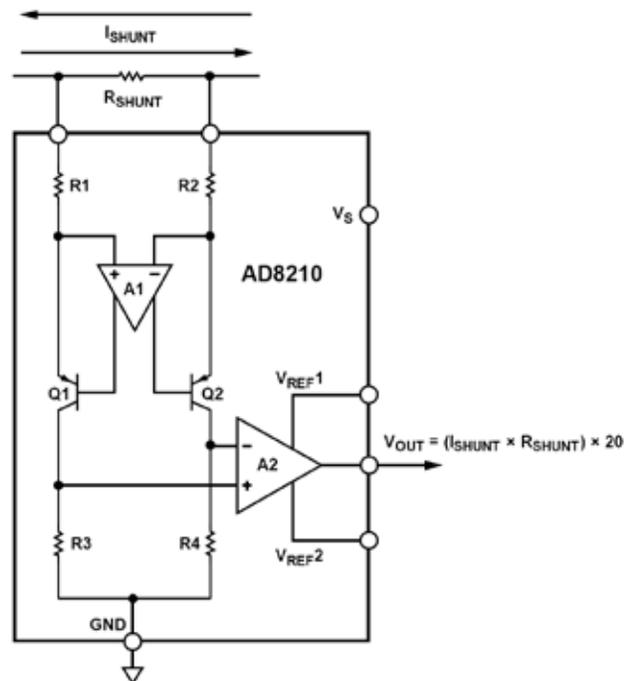
A1输入放大器配置为一个简单的减法器或差动放大器,增益为10。A2放大器提供大小为2的额外同相增益。当AD8202采用3.5 V至12 V的单电源供电时,通过使用薄膜电阻,可以支持最高28 V的输入共模电压。薄膜电阻同时提供0.01%以内的匹配精度,结果产生80 dB的总共模抑制比。

图5显示了如何在电池电流检测应用中将AD8202配置为高端和低端工作模式。箝位二极管保护AD8202输入,使其免受(功率器件突然关闭时产生的)感性尖峰的伤害。通过一个四引脚(开尔文检测)分流电阻来检测电流。



**图5：利用AD8202 28V差动放大器实现高端和低端电池电流检测**

前面讨论的差动放大器利用薄膜电阻来对输入电压进行分压，从而实现高共模输入电压。另一方面，[AD8210](#)、[AD8211](#)、[AD8212](#)、[AD8213](#)和[AD8215](#)五款差动放大器则借助其输入晶体管的高击穿电压来实现65 V的高共模输入电压。这样可以获得更高的带宽、更高的输入阻抗。这种架构还具有低噪声特性，因为输入信号不会先进行衰减。在典型应用中，AD8210放大由分流电阻中流过的负载电流产生的小差分输入电压。AD8210能够抑制高共模电压(最高65 V)，并提供以地为参考的缓冲输出，以便与模数转换器(ADC)连接。图6显示了AD8210的原理图示意图。



**图6：AD8210高压(65V)双向分流监控器**

AD8210主要包括两个模块：一个差分放大器和一个仪表放大器。流经外部分流电阻的负载电流在AD8210的输入端产生电压。输入端通过R1和R2连接到差分放大器(A1)。放大器A1利用Q1和Q2调整流经R1和R2的电流，使其自身输入端上的电压为零。当AD8210的输入信号为0 V时，R1和R2中的电流相等。当该差分信号非零时，一个电阻中的电流增大，另一个电阻中的电流则减小。电流差与输入信号的大小和极性成比例。

R3和R4将流经Q1和Q2的差分电流转换为差分电压。A2配置为仪表放大器，用于将该差分电压转换为单端输出电压。增益通过精密调整的薄膜电阻在内部设置为20 V/V。

使用 $V_{REF1}$ 和 $V_{REF2}$ 引脚可以轻松调整输出基准电压。在典型配置中， $V_{REF1}$ 连接到 $V_{CC}$ ，而 $V_{REF2}$ 连接到GND。这种情况下，当输入信号为0 V时，输出以 $V_{CC}/2$ 为中心。

### 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 2.
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 2.
3. Charles Kitchin and Lew Counts, [A Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers, 3<sup>rd</sup> 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.