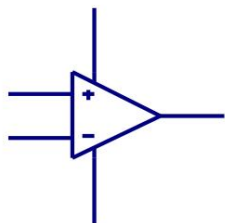


## 运算放大器基础知识

运算放大器是方便的构建块,可用于构建放大器、滤波器,甚至模拟计算机。运算放大器是由许多晶体管和电阻器组成的集成电路,因此所得电路遵循一组特定的规则。最常见的运算放大器类型是电压反馈类型,这就是我们将使用的类型。

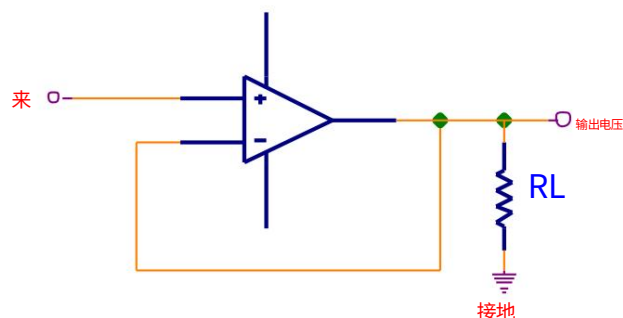


运算放大器的示意图如左图所示。有两个输入引脚（同相和反相）、一个输出引脚和两个电源引脚。理想的运算放大器具有无限增益。它放大两个输入之间的电压差,并且该电压出现在输出端。如果没有反馈,该运算放大器将像比较器一样工作（即,当同相输入的电压高于反相输入时,输出将为高电平,当输入反转时,输出将为低电平）。

两条规则可以让您弄清楚最简单的运算放大器电路的作用：

1. 没有电流流入输入引脚（即无限大的输入阻抗）
2. 输出电压将调整以尝试使输入引脚达到相同的电压（此规则对下面所示的电路有效）

## 简单的运算放大器电路



电压跟随器：

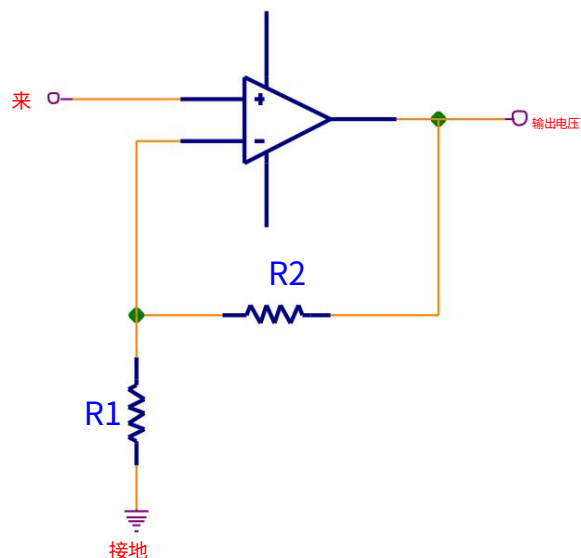
无电流流入输入， $R_{in} = \infty$

输出被反馈到反相输入。由于输出调整以使输入电压相同

$V_{out} = V_{in}$ （即电压跟随器,增益=1）。

该电路用于缓冲高阻抗源（注意：运算放大器具有低输出阻抗 10-100 $\Omega$ ）。

应用提示：某些 CMOS 放大器的输入阻抗非常高,以至于在没有任何输入的情况下,同相输入可能会浮动到不同的电压（即输入引脚像天线一样拾取信号）。在输入可能断开的情况下（例如来自外部传感器时）,最好通过高阻值电阻 (1M-10M  $\Omega$ ) 将输入接地。如果传感器的电线断开并且仍然具有高输入阻抗,这会将输入保持在地电位。



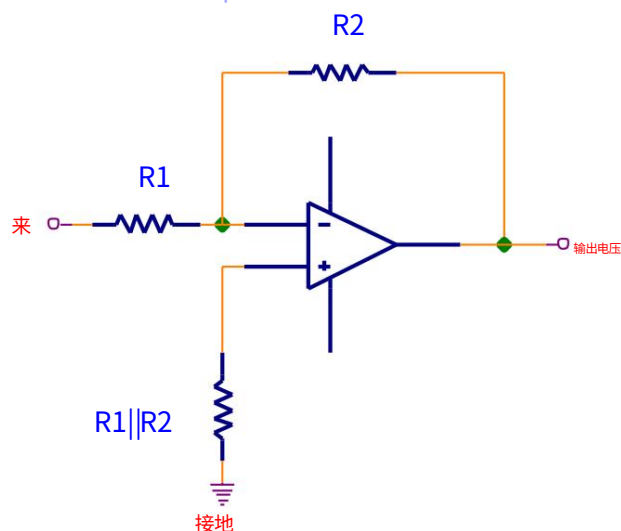
同相放大器：

无电流流入输入， $R_{in} = \infty$

输出进行调整,使  $V_{in-}$  的电压与  $V_{in+}$  的电压相同。因此  $V_{in-} = V_{in}$ ,并且由于没有电流流入  $V_{in-}$ ,因此相同的电流必须流过  $R1$  和  $R2$ 。因此, $V_{out}$  为  $V_{R1} + V_{R2} = V_{in-} + IR2 = V_{in-} + (V_{in}/R1)R2$ 。

$$V_{out} = V_{in} (1 + R2/R1)。$$

应用提示:处理较大信号时,请记住输出不能超过电源电压(即,如果运算放大器由  $\pm 15V$  供电,并且您有 1 伏输入和 20 增益,您将获得输出上没有 20V。输出很可能会停止在电源轨以下几伏(大约 13V)。有一些特殊的运算放大器设计用于处理一直到电源轨的输入和输出,但这些运算放大器通常只能在较低电压(即0-5V)下工作。



反相放大器：

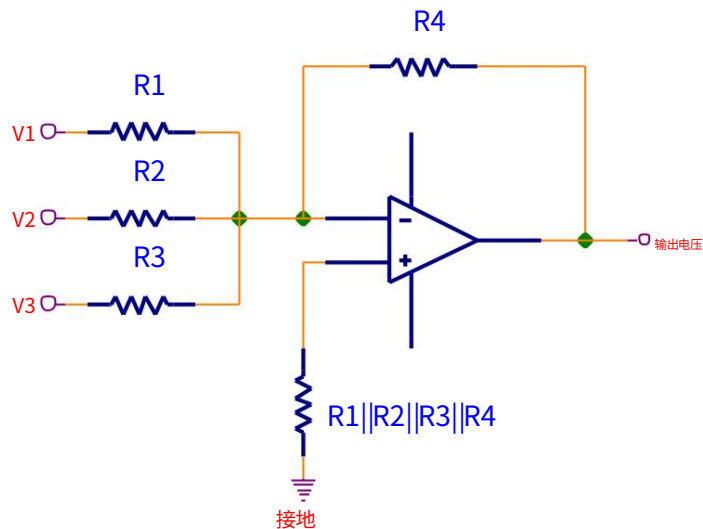
由于没有电流流入输入引脚,因此  $R1||R2$  上不会出现电压降。因此  $V_{in+}$  处于 0V (这称为虚拟地)。输出将进行调整,使  $V_{in-}$  处于零伏。这使得  $R_{in} = R1$  (不是  $\infty$ )。由于没有电流进入输入引脚,因此流经  $R1$  和  $R2$  的电流必须相同。

$$\text{因此 } I = V_{in}/R1。 V_{out} = V_{in+} - IR2 =$$

$0 - (V_{in}/R1)R2$ 。因此  $V_{out} = -V_{in}(R2/R1)$ 。注意:负正弦是因为电流从输入流向输出,而在前面的示例中,电流从输出流向输入。

应用提示:为什么不将  $V_{in+}$  直接接地?事实上,很多人都这样做,而且电路工作得很好。之所以有  $R1||R2$  是因为真实

运算放大器并不完美,并且会在两个输入中引入很小的偏置电流。通过添加  $R1||R2$ , + 输入处的电压降被抵消了与 - 输入处的电压降相同的量。这称为输入失调电压。



## 加法放大器:

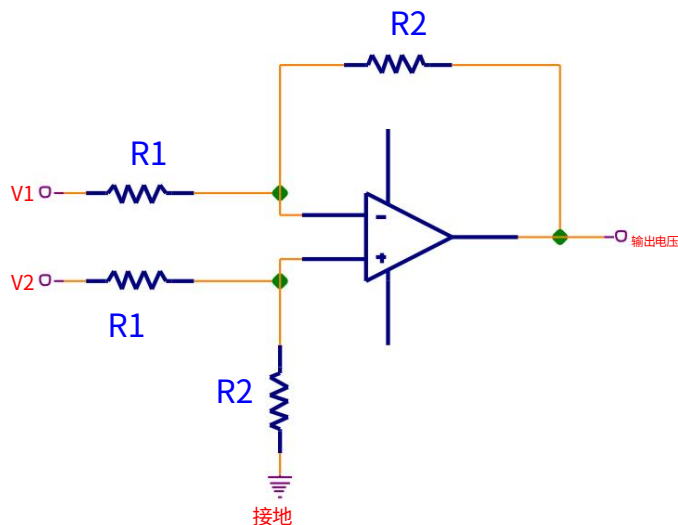
由于  $V_{in-}$  是垂直接地,添加  $V_2$  和  $R_2$  (以及  $V_3$  和  $R_3$ ) 不会改变从  $V_1$  流经  $R_1$  的电流。每个输入都使用以下等式对输出做出贡献:

$$V_{out} = -V_1(R_4/R_1) - V_2(R_4/R_2) - V_3(R_4/R_3)。$$

$V_1$  输入的输入阻抗仍然是  $R_1$ ,类似地, $V_2$  的输入阻抗是  $R_2$ , $V_3$  的输入阻抗是  $R_3$ 。大多数时候,不使用  $R_1$ - $R_4$  的并联组合, $V_{in+}$  接地。

应用提示:某些运算放大器具有空引脚,允许您添加电位计并清空 (消除)输入偏移误差 (例如:LM741:<http://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Fairchild/LM741.pdf>)。

一些较新的运算放大器 (例如:LTC1151: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/1151fa.pdf>) 是斩波稳定的 (即,它们测量偏移并每秒自动将其归零多次)。斩波稳定运算放大器在缓慢移动的输入 (例如温度,远低于测量和清零偏移的速率)下效果最佳。



## 差分放大器:

您可以像以前一样使用两个规则计算增益 (没有电流流入输入,输出将调整以使  $V_{in-}$  变为  $V_{in+}$ )。结果是  $V_{out} = (V_2 - V_1) * (R_2/R_1)$ 。还,

$$R_{in(-)} = R_1, R_{in(+)} = R_1 + R_2。$$

应用提示:使用精密电阻。如果两个  $R_2$  电阻相差 1%,则差异将减少 1%。 $R_1$  电阻器也是如此。

假设  $V_1 = V_2$ 。如果电阻不匹配,输出将不会为零。实际上,最好购买差分放大器或仪表放大器,而不是用运算放大器和分立电阻构建差分放大器。通过使用差分放大器和 IC 上的电阻器,可以将它们进行激光微调至优于 0.01% (例如:

LT1190:<http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/1190fa.pdf>,或 LT1168: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/1168fa.pdf>)。