

可在低电压下实现高共模抑制比的仪表放大器

现代的电池电压为 3~3.6V，这就要求电路能在低压下高效工作。本设计提出的一种交流耦合仪表放大器，具有很大的共模抑制比（CMRR）、很宽的直流输入电压容限以及一阶高通特性。这些特性大多是由高增益第一级设计提供的。电路采用普通参数值和普通容限的元件。图 1a 示出简化的放大器电路。该电路的一般原理是电容器 C 和电阻器 R3 对输入信号进行缓冲和交流耦合。第二级由两个差分放大器 AD 组成。每个差分放大器放大差分输入信号的一半。求和运算可以得到求 VOUT 的如下公式：

$$V_{OUT} = A_D(V_A - V_B + V_C - V_D) = A_D \left(\frac{2sR_3C}{1 + 2sR_3C} \right)$$

在图 1a 中，VA、VB、VC 和 VD 是两个差分放大器的输入电压，AD 是增益。时间常数 2R3C 决定高通的截止频率。图 1b 示出了详细的电路。输入级由运算放大器 A1、A2、A3 和 A4 组成。A1 和 A2 是主要的增益级。因为 A1 和 A2 的反相输入端和非反相输入端的电位相同，所以 A1 和 A2 的输入电压都供给电阻器 R3。缓冲器 A3 和 A4 与电阻器 R2 一起，可使 R3 的电流放大 1+R3/R2 倍，因为 R2 和 R3 都连接到相等的电位。这种电路结构是本设计的核心。电容器 C 上的电压没有交流分量，而 A1 和 A2 各放大差分输入交流信号的一半。C 滤除出现在 A3 和 A4 输出端的输入直流分量。第二级是一个增益为 1 的、四个输入加法器—减法器级。它能实现上述的公式，式中的 AD 等于 1+R1/(R2||R1)。假定 R3>>R2，AD=1+R1/R2。

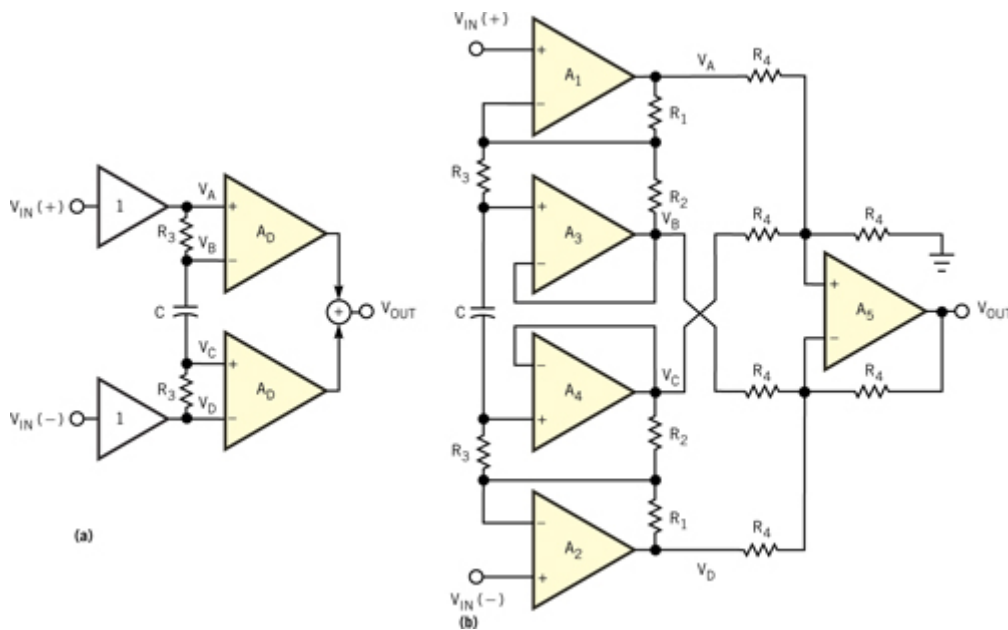


图 1 电容器 C 对简化的放大器电路 (a) 进行交流去耦；详细的电路 (b) 采用几个增益级和一个加法器—减法器级。

第二级的另一种可能的实现方法是采用两个差分通道 ADC，产生一个数字化的 VOUT，供微处理器处理。如果使用一个 ±5V 的电源，则就有可能利用一块芯片上的两个差分放大器，如 INA2134 来获得 VOUT。你可以计算出共态抑制比的最小值：

$$\text{CMRR} = \frac{A_{D(1-4)}}{A_{CM(1-4)}} \times \frac{A_{D5}}{A_{CM5}} =$$

$$\frac{A_D}{4\Delta/(1+R_4/2R_4)} = \frac{1.5A_D}{4\Delta},$$

式中 $A_{D(1-4)}$ 分别是放大器 A1 到 A4 的差动增益, $A_{CM(1-4)}$ 分别是这四个放大器的共模增益, A_{D5} 是放大器 A5 的差动增益, A_{CM5} 则是 A5 的共模增益。 Δ 是电路中电阻器 R_4 的容限。一个非常重要的参数是运算放大器的输入失调电压, 对于 A3 和 A4 来说尤其是这样。A1 和 A2 的失调电压不会引起差错, 因为它们只增加输入信号的直流分量, 而电容器 C 则将这些直流分量去掉。

由运算放大器失调电压引起的最大输出电压误差为:

$$V_{\text{MAX}} = (V_{\text{IOA3MAX}} + V_{\text{IOA4MAX}}) \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) +$$

$$3V_{\text{IOA5MAX}} \approx 2A_D V_{\text{IOA34MAX}},$$

式中, $V_{10\text{MAX}}$ 为相应运算放大器的最大失调电压。在选择运算放大器时, 你应该注意以下两点: A3、A4 和 A5 应为低失调电压和高共模抑制比 (CMRR) 的运放, 而 A1 和 A2 应具有很高的开环增益、共模抑制比 (CMRR) 和增益带宽乘积。图 2 示出了一种实用的放大器电路。电源是一块 3V 锂电池。你可以选用几种运算放大器, 如 MCP607 系列或 OPA2336 系列。由于输入共模电压范围的缘故, 你要把信号地电位调到电源电压的三分之一。二极管 D1 能防止电路闭锁。R7-C4 网络在输入端滤除射频噪音。你可以根据下述的考虑因素推导 R7-C4 网络的参数: 如果 $R7C4 = (R1 \parallel R2 \parallel R3)C2 \sim R2C2$, 则放大器传递函数中的高频零就会消去:

$$A_D(s) = \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}(+) - V_{\text{IN}(-)}}} = \frac{2sC_3R_3}{(1+sC_4R_4)(1+2sC_3R_3)} \times$$

$$\left(1 + \frac{R_1}{R_2 \parallel R_3} \right) \times \left(\frac{1+sC_2(R_1 \parallel R_2 \parallel R)}{1+sC_2R_1} \right).$$

该电路具有以下优点:

- 第一级确保总增益, 从而在第二级不采用高精度电阻器的情况下也可提供高共模抑制比 (CMRR);
- 只要把确定低频的 RC 网络连接到两个放大输入信号的运算放大器的反相输入端, 该电路就不需要另外的输入缓冲器;
- 该电路利用具有普通参数值和容限的无源元件就可提供标准的一阶高通特性;
- 采用 3V 电源, 差动输入信号范围可高达 2V;
- 该电路消耗的电源电流和功率都很小, 分别为 $120 \mu\text{A}$ 和 0.4mW 左右。

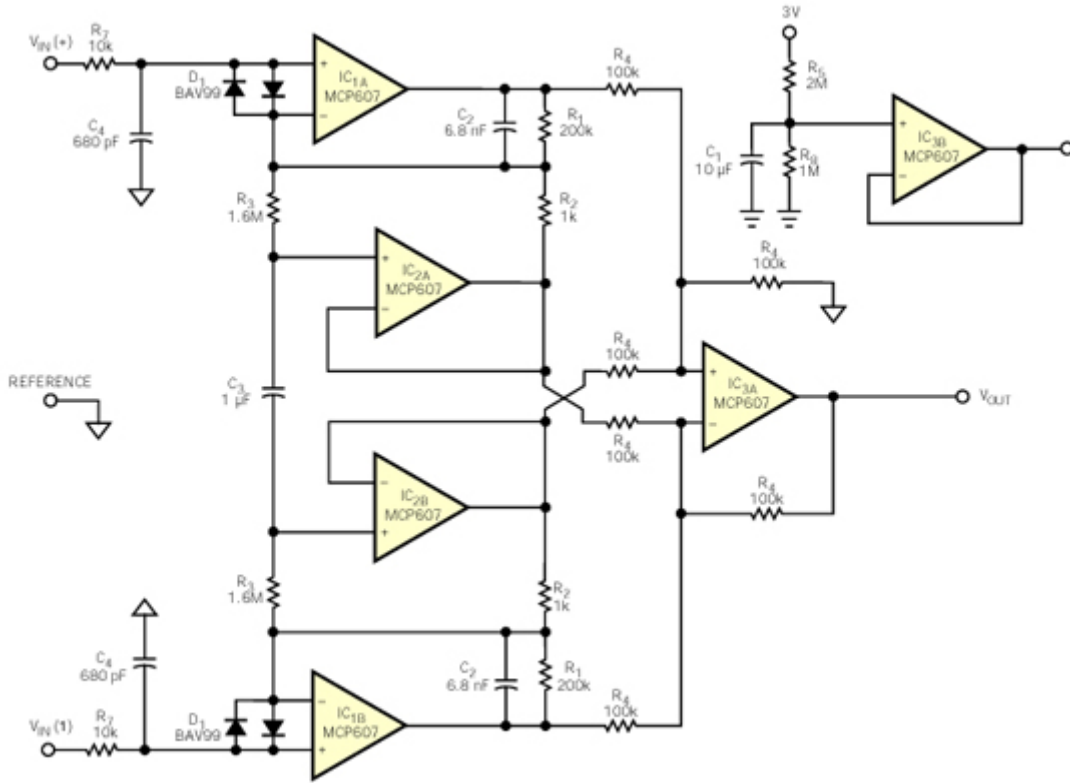


图 2 这一高共模抑制比 (CMRR) 仪表放大器可在极低的电源电压下工作。