

# 运放差分 and 单端工作模式的区别

## 1 概述

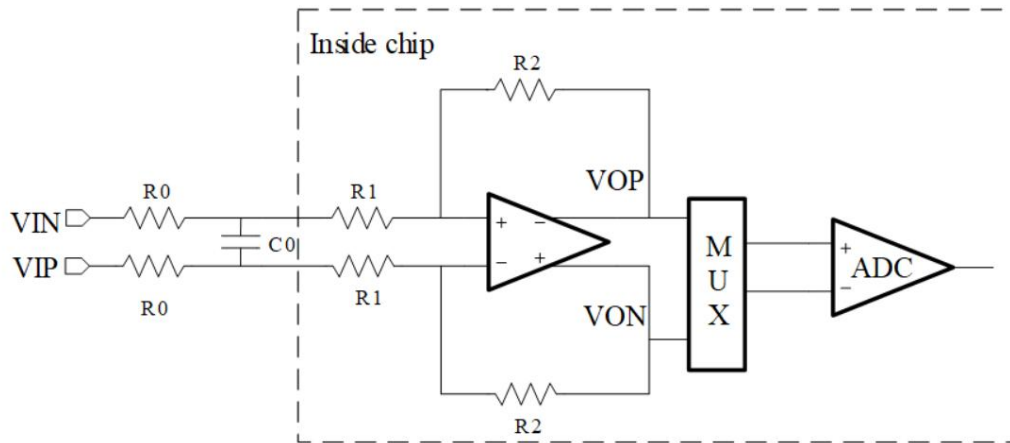


图1

图 1 中两个 R0 是片外需放置的电阻，阻值必须相等，最终的放大倍数为  $\text{Gain} = R2 / (R1 + R0)$ ，反馈电阻 R2:R1 的阻值可通过寄存器 RES\_OPAx[1:0] 设置，以实现不同的放大倍数。ADC 的输入信号范围最大为  $\pm 3.6\text{V}$ ，因此运放增益设置的原则是使得最大输入信号时，经运放放大后的信号幅度接近  $\pm 3.6\text{V}$ ，留一定的冗余度即可。

对于 MOS 管电阻直接采样的应用，由于 MOS 下管关断、上管导通时信号会升高到数十 V 的电源电压，为减小此时往芯片引脚里流入的电流，一般建议接  $>20\text{k}\Omega$  的外部电阻 R0。

对于康铜丝等取样电阻采样的应用，建议接  $100\sim 1\text{k}\Omega$  的外部电阻。C0 为信号滤波电容，和 R0 形成一阶 RC 滤波电路。R0 的具体阻值可根据  $R0 \cdot C0$  的滤波常数而定。如果信号上噪声较小不需要滤波、或者信号需要很大的带宽（较快的响应速度），则 C0 可以不加。

如果输入信号 VIP/VIN 之间的共模噪声特别大，则可将 1 个跨接电容 C0 改为 2 个电容到地的电容。如图 2 所示

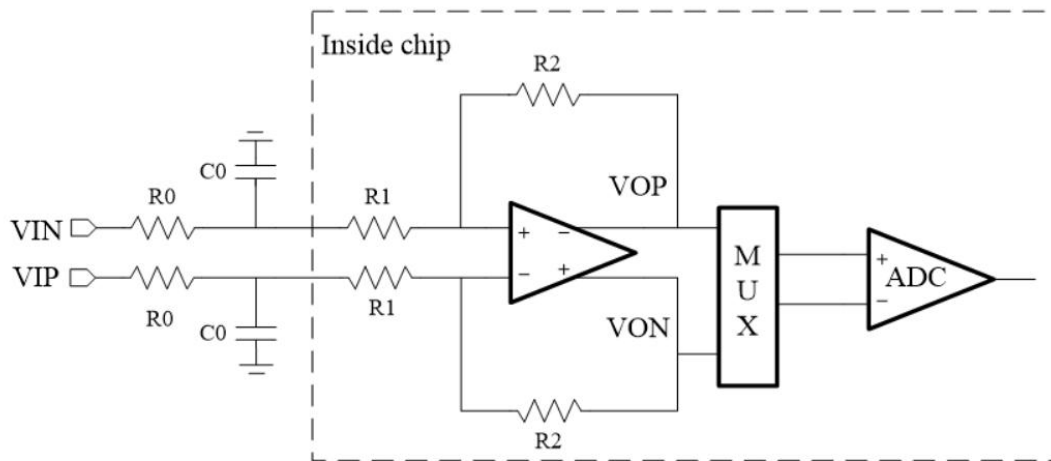


图2

放大器可通过设置 OPAOUT\_EN<2:0>选择将 4 路放大器中某一路的正端输出信号 VOP 通过 BUFFER 送至 P2.7 IO 口进行测量和应用（对应关系见 datasheet 芯片管脚说明）。因为有 BUFFER 存在，在运放正常工作模式下也可以选择将其 VOP 信号出来，此时该运放相当于同时作为差分运放和单端运放使用。

## 2 差分工作模式

运放输出的差分信号： $V_{sig} = VOP - VON = Gain * Vin + Gain * V_{offset}$  其中： $Vin = VIP - VIN$ ； $Gain = R2 / (R1 + R0)$ ； $Gain * V_{offset}$  为运放经过放大后的零漂，对于应用来说  $Gain * V_{offset}$  这项需要剔除。

### 处理方案：

在芯片上电之初，电机尚未工作时，运放输入信号为 0V，此时通过 ADC 对该路运放进行采样，采到的值就是  $Gain * V_{offset}$ ，软件上将其保存下来，之后读到的该路运放的采样值，都减掉保存的运放零漂。

使用到的每一路运放，都需要保存其相应的零漂值

运放输出信号送给 ADC 采样的方式，是属于差分工作模式。差分工作模式的优点是精度高、抗干扰能力强，这也是运放的正常工作模式。

## 3 单端工作模式

除差分模式之外，运放还有两种单端应用模式：

1) 将某路运放的正输出端 VOP, 通过设置 CMPx\_SELP<2:0>(x=0/1)送至比较器 0/1 的正输入端, 比较器的负输入端通过设置 CMPx\_SELN<1:0>(x=0/1)连至 DAC 模块的输出, 这种应用方式, 可将放大后的信号做过流保护使用。

2) 通过设置 OPAOUT\_EN<2:0>将 4 路放大器中某一路的正端输出信号 (VOP) 通过 BUFFER 送至 P2.7 IO 口, 控制芯片外部的某些模块, 或者将该信号在芯片外做滤波后得到信号平均值, 重新送到芯片的另一个 ADC 输入通道管脚, 由 ADC 去测量滤波后的信号。

这两种应用方式由于都只利用了运放输出正端信号 VOP, 属于将差分运放作为单端运放应用。单个运放可以同时作为差分运放和单端运放来使用, 即运放输出信号被 ADC 采样的同时, 将正端输出 VOP 连至比较器, 或送至 P2.7 IO 口使用。

VOP/VON 的信号公式为:

$$VOP = V_{cm} + V_{sig}/2$$

$$VON = V_{cm} - V_{sig}/2$$

其中,  $V_{cm}$  是运放输出的共模电压, 一般为 1.9V,  $V_{sig}$  为运放输入信号经放大后的差分信号。假设某个输入信号下, 放大后的  $V_{sig}=2V$ , 则 VOP 为 2.9V, VON 为 0.9V。

可以看出, 对于差分应用模式,  $V_{cm}$  的值没有影响。但是对于单端应用模式,  $V_{cm}$  的作用则不可忽视。

### 3.1 单端模式 $V_{cm}$ 的校正

对于不同芯片运放的  $V_{cm}$ , 有离散性, 大批量时, 相比于 1.9V 的平均值, 最大偏差可能达到一百多毫伏。因此有必要对  $V_{cm}$  做校正。

校正方式:

在芯片上电之初, 电机未运行时, 运放输入信号为 0V, 此时将作为单端模式应用的那路运放 VOP 通过配置 OPAOUT\_EN<2:0>送至 P2.7 IO 口, P2.7 IO 口是 ADC\_CH11, 用 ADC 对 CH11 进行采样, 采样得到的值即为  $V_{cm}$  对应的 ADC 值。实际的物理值(即多少 V)则可根据 ADC 值计算得到。

如果 P2.7 IO 口在 PCB 上有阻容滤波，如图 3 所示：

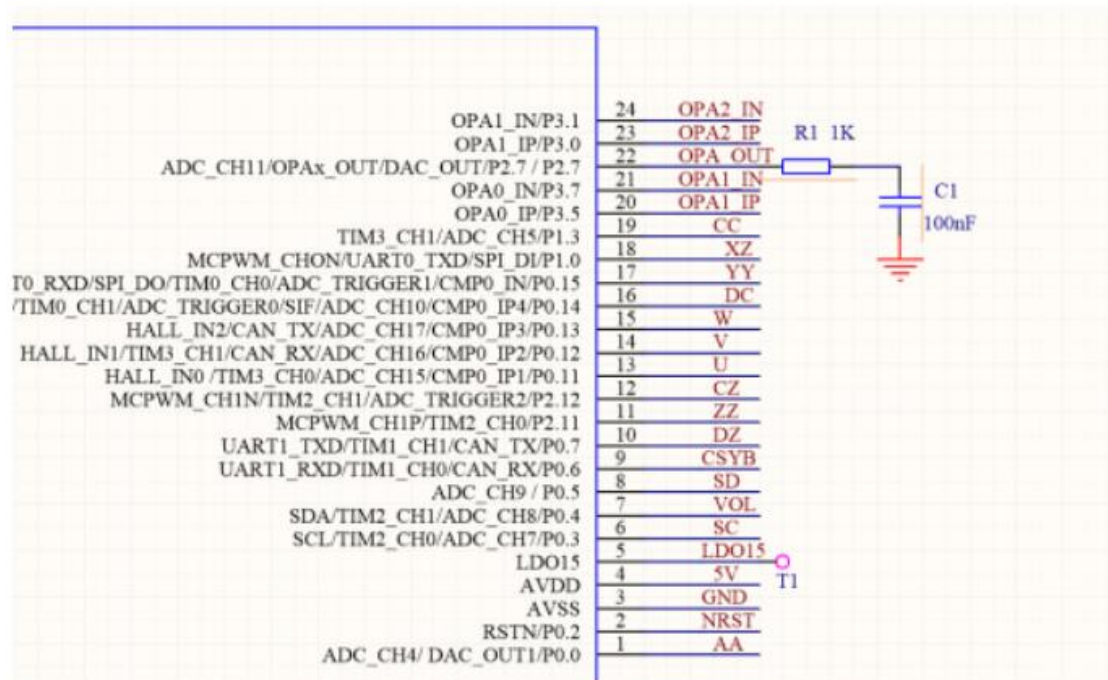


图 3

则将运放 VOP 信号送出后，P2.7 的信号要经过一段时间才能达到稳定，稳定时间的计算公式为： $T = 6 * (1000 + R) * C$ 。

以图 3 中  $R1=1k$ ， $C1=100n$  来计算，需等待的时间为 1.2ms。如果片外没有电阻  $R1$ ，则取  $R=0$  即可。需留意的是，VOP 信号送至 P2.7 IO 口的话，由于 VOP Buffer 的电流驱动能力有限，该 IO 口对地的阻抗需要大于 40k。图 3 中的电阻  $R1$ ，因为后面对地还有电容  $C1$ ，因此对地阻抗满足要求。

上电之初 ADC 采集到的  $V_{cm}$  在软件上保存下来，对于上述两种单端应用模式：

1) VOP 送至比较器的正输入端，DAC 信号送至比较器负输入端：

对于要做保护的阈值  $V_{Hsig}$ （即运放放大后的信号  $V_{sig}$  超过  $V_{Hsig}$  后比较器应翻转），VOP 的信号是  $V_{cm}+V_{Hsig}/2$ ，因此连至比较器负端的 DAC 值应设置为  $V_{cm}+V_{Hsig}/2$ ，其中  $V_{cm}$  采用上面软件保存的值所对应的物理值，物理值和 ADC 值之间的换算参看 user manual 的 ADC 章节。

2) VOP 送至 P2.7 IO 口, 控制芯片外的模块, 或者将该信号在芯片外做滤波后得到信号平均值, 重新送到芯片的另一个 ADC 输入通道管脚, 由 ADC 去测量滤波后的信号: ADC 采集到的做过滤波的 VOP 信号值, 都需要减掉软件保存的  $V_{cm}$ , 得到的是  $V_{sig}/2$ , 即运放输出信号的一半大小。

### 3.2 单端模式 $V_{cm}$ 随温度的变化

上述部分校正了不同芯片之间运放共模电平  $V_{cm}$  的差异, 但  $V_{cm}$  随温度还有约  $-0.5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$  的变化。即 125 度相比 25 度,  $V_{cm}$  将下降 50mV。如果应用上要求精度较高, 则有必要修正  $V_{cm}$  的温度变化量。

#### 校正方式:

在芯片上电之初, 将运放 VOP 送至 P2.7 IO 口进行 ADC 测量得到  $V_{cm0}$  的同时, 测量芯片内部温度传感器的温度 (详见 usermanual 温度传感器章节)  $T_0$ 。后面电机运行过程中, 每隔几秒或者 1 分钟, 测量一次温度值  $T_1$ , 计算温度差  $V_T = T_1 - T_0$ 。此时的运放共模电压  $V_{cm} = V_{cm0} + V_T * (-0.5\text{m})$ 。

对于上述两种单端应用模式, 应采用随温度更新过的  $V_{cm}$ :

1) VOP 送至比较器的正输入端, DAC 信号送至比较器负输入端:

对于要做保护的阈值  $V_{Hsig}$  (即运放放大后的信号  $V_{sig}$  超过  $V_{Hsig}$  后比较器应翻转), VOP 的信号是  $V_{cm} + V_{Hsig}/2$ , 因此连至比较器负端的 DAC 值应设置为  $V_{cm} + V_{Hsig}/2$ , 其中  $V_{cm}$  采用上面软件保存的值所对应的物理值, 物理值和 ADC 值之间的换算参看 user manual 的 ADC 章节。

2) VOP 送至 P2.7 IO 口, 控制芯片外的模块, 或者将该信号在芯片外做滤波后得到信号平均值, 重新送到芯片的另一个 ADC 输入通道管脚, 由 ADC 去测量滤波后的信号: ADC 采集到的做过滤波的 VOP 信号值, 都需要减掉软件保存的  $V_{cm}$ , 得到的是  $V_{sig}/2$ , 即运放输出信号的一半大小。

但即使做过温度修正, 运放单端模式的精度仍然不如差分模式, 对于需要精确测量小电流信号的场合, 建议还是使用单独一个运放的差分模式。