

1.1 运放的工作原理

运放全称是运算放大器，是具有很高放大倍数的电路单元。在实际电路中，通常结合反馈网络共同组成某种功能模块。运放是一个从功能角度命名的电路单元，可以由分立的器件实现，也可以实现在半导体芯片当中。随着半导体技术的发展，如今绝大部分的运放是以芯片的形式存在。运放种类繁多，广泛应用于几乎所有的行业当中。

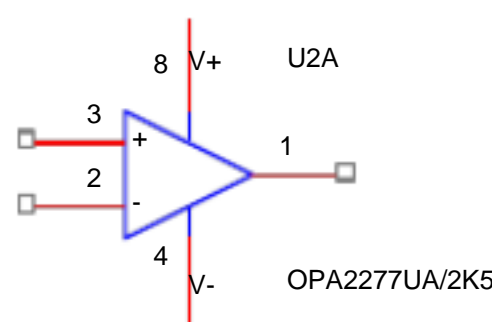


图 5.1 运放端口图

运放如上图有两个输入端——2（反相输入端），3（同相输入端）和一个输出端1。也分别被称为反向输入端，同向输入端和输出端。

一般可将运放简单地视为：具有一个信号输出端口（Out）和同相、反相两个高阻抗输入端的高增益直接耦合电压放大单元，因此可采用运放来制作同相、反相及差分放大器。

运放的供电方式分双电源供电与单电源供电两种。对于双电源供电运放，其输出可在零电压两侧变化，在差动输入电压为零时输出也可置零。采用单电源供电的运放，输出在电源与地之间的某一范围变化。“轨到轨”运放的电压输出范围会很接近供电电源的电压。

1.2 运放的常用分类和参数

1.2.1 运放的常用分类

按照运放的参数来分，运放可分为如下几类。

1) 通用型运算放大器

通用型运算放大器就是以通用为目的而设计的。这类器件的主要特点是价格低廉、产品量大面广，其性能指标能适合于一般性使用。例 $\mu A741$ （单运放 -美国仙童 60 年代末后的经典）、LM358（双运放）、LM324（四运放 -TI- 公司有用）及以场效应管为输入级的 LF356 都属于此种。它们是目前应用最为广泛的集成运算放大器。

2) 高阻型运算放大器

这类集成运算放大器的特点是差模输入阻抗非常高，输入偏置电流非常小，一般 $r_{id} > 1G \sim 1T$ ， I_B 为几皮安到几十皮安。实现这些指标的主要措施是利用场效应管高输入阻抗的特点，用场效应管组成运算放大器的差分输入级。用 FET 作输入级，不仅输入阻抗高，输入偏置电流低，而且具有高速、宽带和低噪声等优点，但输入失调电压较大。常见的集成器件有 LF355、LF347（四运放）及更高输入阻抗的 CA3130、CA3140 等。

3) 低温漂型运算放大器

在精密仪器、弱信号检测等自动控制仪表中，总是希望运算放大器的失调电压要小且不随温度的变化而变化。低温漂型运算放大器就是为此而设计的。目前常用的高精度、低温漂运算放大器有 OP2177（双运放 -UT5215 的 DA 输出）、AD508 及由 MOSFET 组成的斩波稳零型低漂移器件 ICL7650 等。

参数 失调电压温漂 高质量运放 U_{IO} 低于 $0.5 \mu V / ^\circ C$;

如 TI 的运放 OPA4277 (低温漂型运放) $\pm 0.1 \mu V / ^\circ C$;

如 ADI 的运放 OP2177 $0.3 \mu V / ^\circ C$.

4) 高速型运算放大器

在快速 A/D 和 D/A 转换器、视频放大器中, 要求集成运算放大器的电压转换速率 SR 一定要高 (1 微秒时间里电压升高的幅度, 直观上讲就是电压由波谷升到波峰所需时间), 单位增益带宽 GBW 一定要足够大, 像通用型集成运放是不能适合于高速应用的场合的。高速型运算放大器主要特点是具有高的转换速率和宽的频率响应。常见的运放有 LM318、 $\mu A715$ 等, 其 $SR=50\sim70V/\mu s$, $BWG > 20MHz$ 。

5) 低功耗型运算放大器

由于电子电路集成化的最大优点是能使复杂电路小型轻便, 所以随着便携式仪器应用范围的扩大, 必须使用低电源电压供电、低功率消耗的运算放大器相适用。常用的运算放大器有 TL-022C、TL-060C 等, 其工作电压为 $\pm 2V \sim \pm 18V$, 消耗电流为 $50\sim250 \mu A$ 。目前有的产品功耗已达 μW 级, 例如 ICL7600 的供电电源为 $1.5V$, 功耗为 $10mW$, 可采用单节电池供电。

6) 可编程控制运算放大器

在仪器仪表的使用过程中都会涉及到量程的问题, 为了得到固定电压的输出, 就必须改变运算放大器的放大倍数; 例如: 有一运算放大器的放大倍数为 10 倍, 输入信号为 $1mV$ 时, 输出电压为 $10mV$, 当输入电压为 $0.1mV$ 时, 输出就只有 $1mV$, 为了得到 $10mV$ 就必须改变放大倍数为 100, 程控运放就是为了解决这一问题而产生的, 例如 PGA103A, 通过控制 1, 2 脚的电平来改变放大的倍数。

1.2.2 运放的主要参数

1) 开环差模电压增益 A_{od}

一般用对数表示, 定义为

$$A_{od} = 20 \lg \left| \frac{\Delta U_o}{\Delta U_- - \Delta U_+} \right| \quad \text{单位: 分贝}$$

理想情况 A_{od} 为无穷大; 实际情况 A_{od} 为 $100 \sim 140 dB$ 。

即放大倍数一般为 十万到 一千万。

如 TI 的四通道运放 OPA4277 为 $134dB$ 。

2) 输入失调电压 (V_{IO}) Input offset voltage

该参数表示为了使输出电压为零, 需要在输入端施加的补偿电压差。

A) 一般运放的输入失调电源 U_{IO} 为 1 到 $10mV$, 如 TI 的四通运放 TLC2274 最大为 $1.5mV$;

B) 高质量运放 U_{IO} 为 1 mV 以下，如 TI 的四通运放 OPA4277 为 $10 \mu V$ ；再如 ADI 的两通运放 OP2177 为 $60 \mu V$ 。

- 3) 输入失调电压温漂 U_{IO} --- 有关温度和精度的参数，在精度要求高的仪表或仪器中该参数数值必须要小。

定义:
$$\alpha_{U_{IO}} = \frac{dU_{IO}}{dT}$$

A) 一般运放 U_{IO} 10 到 $20 \mu V / ^\circ C$ ；如 TI 的四通运放 TLC2274（低噪声轨到轨） $2 \mu V / ^\circ C$ ；

B) 高质量运放 U_{IO} 低于 $0.5 \mu V / ^\circ C$ ；如 TI 的四通运放 OPA4277（低温漂型运放） $\pm 0.1 \mu V / ^\circ C$ ；如 ADI 的四通运放 OP2177 $0.3 \mu V / ^\circ C$ 。

- 4) 输入失调电流 (I_{OS}) Input offset

定义：当输出电压等于零时，两个输入端偏置电流之差，即

$$I_{IO} = |I_{B1} - I_{B2}|$$

一般运放为几十 ~ 一百纳安；

高质量的低于 1 nA。这个参数一般都能做的很小，如常用的 TLC2274、OPA4277 和 OP2177。

- 5) 输入偏置电流 (I_B) Input Bias Current

该参数指运放输出电压等于零时，两个输入端偏置电流的平均值。

$$I_{IB} = \frac{1}{2}(I_{B1} + I_{B2})$$

- 6) 差模输入电阻 (R_{id})

该参数表示输入电压的变化量与相应的输入电流变化量之比，电压的变化导致电流的变化。

定义:
$$r_{id} = \frac{\Delta U_{Id}}{\Delta I_{Id}}$$

一般集成运放为几个 M。

- 7) 共模抑制 (CMR) Common-mode rejection ratio

定义:
$$K_{CMR} = 20 \lg \left| \frac{A_{od}}{A_{oc}} \right|$$

多数集成运放在 80 dB（一万倍）以上，高质量的可达 160 dB。

如 TI 的 TLC2274 为 80dB ；

TI 的 OPA4277 为 115dB ；

ADI 的 OP2177 为 125dB.

8) 最大共模输入电压 U_{lcm}

输入端所能承受的最大共模电压。须查规格书。

9) -3 dB 带宽 f_H

表示运放的开环差模增益 A_{od} 下降至 -3 dB (1/1.414) 时的运放工作频率。

一般集成运放 f_H 只有几赫至几千赫。

10) 单位增益带宽 (BW) f_c

该参数指开环差模增益 A_{od} 大于 1 时，运算放大器的最大工作频率。此时开环差模电压放大倍数等于 1。

11) 增益带宽积 (GBW) Gain-bandwidth product

增益带宽积 $A_{OD} * f$ 是一个常量，定义为在开环增益随频率变化的特性曲线中以 -20dB/ 十倍频程滚降的区域。

TLC2274 为 2.25MHz ；

OPA4277 为 1MHz ；

OP2177 为 1.3MHz 。

12) 输出电压摆幅 (V_o)

该参数是指输出信号能够达到的最大电压摆幅的峰值， V_o 。

一般选用轨到轨的运放，输出电压可以接近电源的电压。

13) 转换速率 /电压摆率 (SR)

额定负载条件下，输入一个大幅度的阶跃信号时，输出电压的最大变化率。单位为 $V / \mu s$ 。

1 纳秒时间里电压升高的幅度，直观上讲就是电压由波谷升到波峰所需时间，单位通常有 V/s ， V/ms ， V/ μs 和 V/ns 四种，用示波器就可以测量。

TLC2274 为 3.6V / μs ；

OPA4277 为 0.8V / μs ；

OP2177 为 0.7V / μs 。

虽然在 GBW 和 SR 两个参数方面， TI 的 TLC2274 表现要优于 TI 的 OPA 系列和 ADI 的 OP 系列运放；但是在开环差模增益、输入失调电压、输入失调电源温漂、以及共模抑制比等几个参数上要比 OPA 系列和 OP 系列表现差。

TLC 系列运放成本低。

在选择运放时要综合考虑各个因素，做出最优的选择。