

10 31-32

# T型反馈电阻网络在微弱信号放大电路中的应用

刘鹏民 莫德举  
洪峰

北京化工大学自动化系(100029)  
黑龙江龙港装修公司(150001)

TN/22

**摘要** 分析了传统放大电路在处理微弱信号时存在的问题,提出了采用T型反馈电阻网络消除温度漂移的解决办法,并以一个电路计算实例加以说明。

**关键词** 放大器 反馈 微弱信号 信号处理 误差

温度漂移

0 传统放大电路放大微弱信号时存在的问题  
在传感器输出信号以后,由于信号比较微弱,接下来就要对信号进行放大处理。传统上采用的放大电路如图1所示。

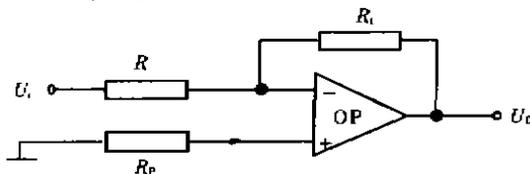


图1 传统的放大器电路

图1中的电路放大倍数  $A_u = -R_f/R$ 。电阻  $R$  和反馈电阻  $R_f$  的取值范围为  $1k\Omega \sim 1M\Omega$ ,放大倍数的范围为  $0.1 \sim 100$ 。

在实际应用中,图1所示的放大电路存在着一定的误差。存在误差的主要原因是实际运放的性能不能完全达到理想运放的特性,即由

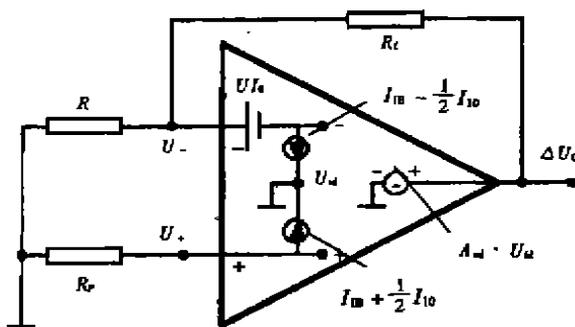


图2 分析  $I_{IB}$  和  $U_{I0}$  和  $I_{I0}$  对误差影响的等效电路

于输入偏置电流  $I_{IB}$ 、失调电流  $I_{I0}$ 、失调电压  $U_{I0}$  以及温度漂移的影响而产生误差。它们对传统放大电路的影响可用如图2所示的等效电路表示。

下面对  $I_{IB}$ 、 $U_{I0}$  和  $I_{I0}$  对静态误差的影响作理论上的分析(设其它参数为理想参数)。

因为运放的差模电压放大倍数  $A_{od} = \infty$ ,差模输入电压  $U_d = 0$ ,由图2可得:

$$U_- = U_{I0} - R_p(I_{IB} + \frac{1}{2}I_{I0})$$

$$\frac{U_-}{R} + I_{IB} - \frac{1}{2}I_{I0} = \frac{\Delta U_0 - U_-}{R_f}$$

解上述两式可得  $\Delta U_0 =$

$$\left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \left[ (R' - R_p) I_{IB} - \frac{1}{2}(R' + R_p) I_{I0} + U_{I0} \right]$$

式中,  $R' = R // R_f$ ,  $\Delta U_0$  是在  $U_{I0}$ 、 $(I_{IB} + \frac{1}{2}I_{I0})$

和  $(I_{IB} - \frac{1}{2}I_{I0})$  共同作用下所产生的误差电压。

① 从上式可以看出,取平衡电阻  $R_p = R' = R // R_f$ ,可以消除输入偏置电流  $I_{IB}$  的影响;

② 通过采用调零电路,适当地改变  $I_{I0}$ ,使  $\Delta U_0 = 0$ ,可以消除失调电压和失调电流所产生的误差。

③ 因为  $I_{IB}$ 、 $U_{I0}$  和  $I_{I0}$  所带来的误差可以通过平衡电阻或调零电路消除,而失调电压温漂  $\Delta U_{I0}$  和失调电流温漂  $\Delta I_{I0}$  的影响无法通过调零电路消除,因此温度漂移所引起的误差就成为成为静态误差的主要来源。

在  $R_p = R' = R // R_f$  和采用调零电路条件下,即只考虑漂移,令  $I_{IB} = 0$ , $I_{I0}$  由  $\Delta I_{I0}$  代换, $U_{I0}$  由  $\Delta U_{I0}$  代换,可得  $\Delta U_0$  的表达式为

$$\Delta U_0 = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) (\Delta U_{I0} - R' \Delta I_{I0})$$

$$\text{式中: } \Delta U_{10} = \frac{dU_{10}}{dT} \Delta T, \Delta I_{10} = \frac{dI_{10}}{dT} \Delta T,$$

整理上式,并以最坏情况考虑,得误差电压的最大值为

$$\Delta U_{0\max} = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \left| \frac{dU_{10}}{dT} \Delta T \right| + R_f \left| \frac{dI_{10}}{dT} \Delta T \right|$$

由此可知,等效输入的失调漂移误差  $\Delta U_1$  为

$$\begin{aligned} \Delta U_1 &= \frac{\Delta U_{0\max}}{R_f/R} \\ &= \left(1 + \frac{R}{R_f}\right) \left| \frac{dU_{10}}{dT} \Delta T \right| + R \left| \frac{dI_{10}}{dT} \Delta T \right| \end{aligned}$$

由此可以计算出漂移电压的等效输入值  $\Delta U_1$ 。由上式可知,减少漂移误差的主要方法除了选择失调漂移较小的运放以外,还可以选用稳定性高的电阻(因为电阻的稳定性也会产生漂移误差,一般阻值在  $1M\Omega$  以上的电阻稳定性较差),尽量把  $R$  的值取得小一些,  $R$  和  $R_f$  的取值不宜超过  $1M\Omega$ 。

但是,对微弱信号而言,为了尽可能减少后续电路对传感器信号源能量的吸收,要求后续电路的输入电阻比较大。由输入电阻  $R_i = R$  可知,电阻  $R$  的阻值应该比较大,所以不能通过降低电阻  $R$  的阻值来减小温漂所带来的误差。另一方面,由于传感器输出的信号比较微弱(有的是毫伏级,甚至是微伏级),为了满足积分、显示、记录等后续电路的要求,要求放大倍数比较大,有的为上百倍,甚至上千倍,由  $A_u = -R_f/R$  可知,在  $R$  阻值不能很小的情况下,反馈电阻  $R_f$  的阻值很难小于  $1M\Omega$ ,这会带来温漂误差。例如,若传感器要求放大器电路的输入电阻为  $100k\Omega$ 、放大倍数  $A_u = -100$ ,根据电压放大倍数  $A_u = -R_f/R$  和输入电阻  $R_i = R$  可知,  $R = 100k\Omega$ ,  $R_f = 10M\Omega$ 。根据前面的理论分析可以看出,较大阻值的电阻  $R$  和  $R_f$  会产生较大的漂移误差。

如何既可以采用小阻值电阻减小漂移误差,又能够获得较大的输入电阻和放大倍数以满足信号处理要求呢?在放大电路中采用 T 型反馈电阻网络较好地解决了这个问题。

### 1 采用 T 型反馈电阻网络

在传感器接口电路中,在反馈部分采用 T 型电阻网络的放大电路如图 3 所示。

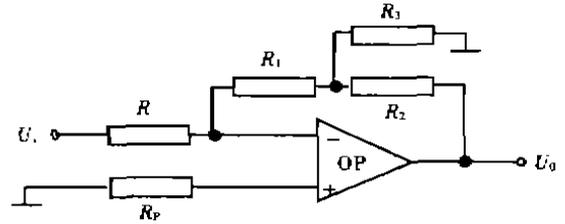


图3 T型反馈电阻网络放大器电路

下面对其实现原理加以简单分析。利用 Y- $\Delta$  变换,可把图 3 电路中由  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  组成的 T 型网络变为图 4 中由  $R_{12}$ 、 $R_{23}$  和  $R_{13}$  组成的  $\Delta$  型网络。

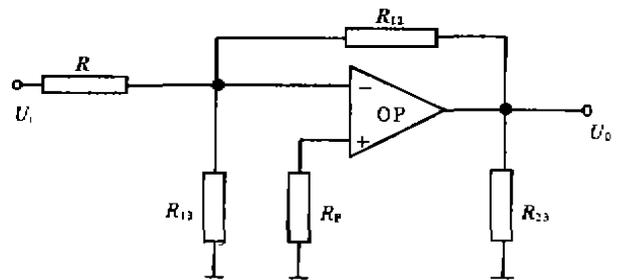


图4 经过 Y- $\Delta$  变换以后的放大器等效电路

在图 4 中,  $R_{12}$  为等效反馈电阻,  $R_{13}$  并接在运放的反相端与地之间,  $R_{23}$  接在输出端和地之间。因为集成运放的闭环输出电阻很小,即运放的输出可等效为一个恒压源,所以  $R_{23}$  不会影响放大器的性能;运用集成运放虚短和虚断条件,可知  $R_{13}$  也不会影响放大倍数。因此  $R_{13}$ 、 $R_{23}$  的影响均可忽略,放大倍数仍由  $A_u = -R_{12}/R$  给定,输入电阻  $R_i = R$ 。

由 Y- $\Delta$  变换公式可得等效反馈电阻为  $R_{12}$

$$\begin{aligned} R_{12} &= \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_3} \\ &= R_1 + R_2 + R_1 R_2 / R_3 \end{aligned}$$

由上式可知,若取  $R_1 R_2 / R_3$  的值大一些,则不用高值电阻也能得到阻值较大的  $R_{12}$  值,从而减小了采用大阻值电阻所带来的漂移误差。下面用一个计算实例来具体说明。

(下转第 6 页)