

通用集成运算放大器电路测试方法

作者：李雷

一、 器件介绍

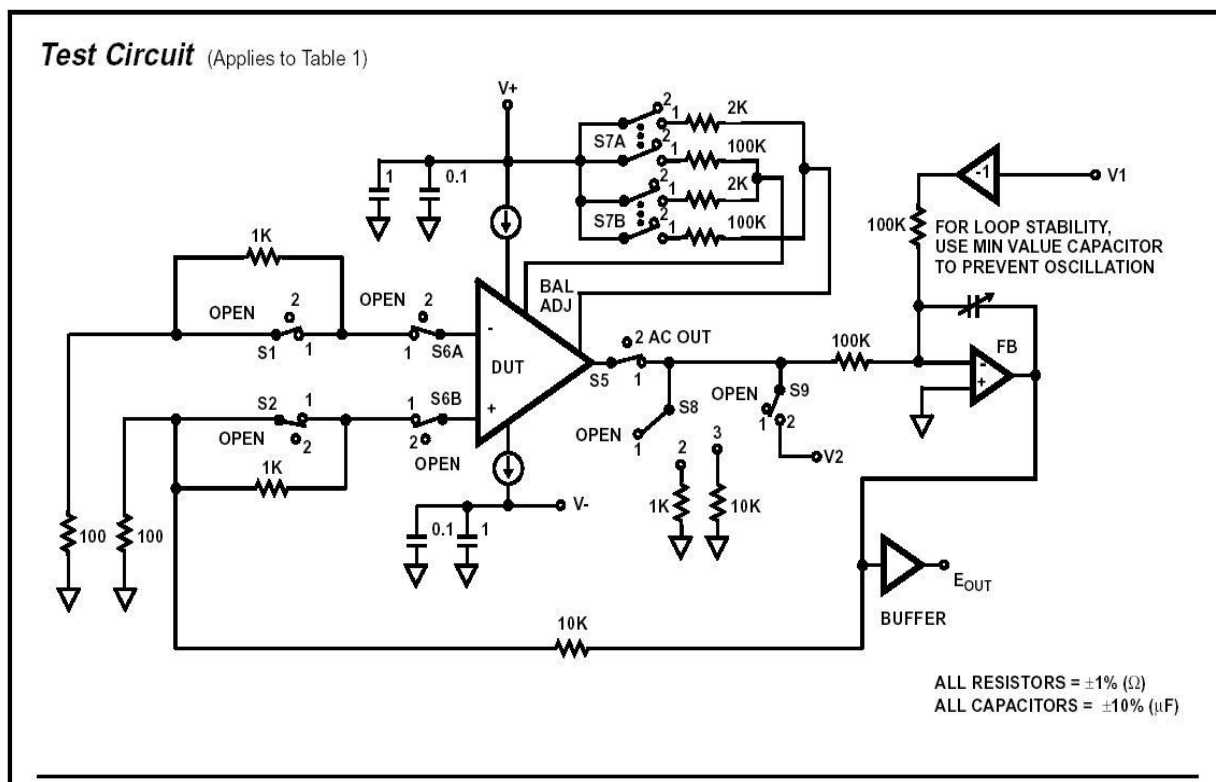
集成运算放大器（简称运放）是模拟集成电路中较大的一个系列，也是各种电子系统中不可缺少的基本功能电路，它广泛的应用于各种电子整机和组合电路之中。本文主要介绍通用运算放大器的测试原理和实用测试方法。

1. 运算放大器的分类

从不同的角度，运算放大器可以分为多类：

1. 从单片集成规模上可分为：单运放（如：OP07A）、双运放(AD712)、四运放(LM124)。
2. 从输出幅度及功率上可分为：普通运放、大功率运放(LM12)、高压运放（OPA445）。
3. 从输入形式上可分为：普通运放、高输入阻抗运放(AD515、LF353)。
4. 从电参数上可分为：普通运放、高精密度运放（例如：OP37A）、高速运放(AD847)等。
5. 从工作原理上可分为：电压反馈型运放、电流反馈型运放（AD811）、跨倒运放(CA3180)等。
6. 从应用场合上可分为：通用运放、仪表运放（INA128）、音频运放(LM386)、视频运放(AD845)、隔离运放（BB3656）等。

2. 通用运放的典型测试原理图（INTERSIL 公司）



二、电参数的测试方法以及注意事项

一般来说集成运算放大器的电参数分为两类：直流参数和交流参数。直流参数主要包括：失调电压、偏置电流、失调电流、失调电压调节范围、输出幅度、大信号电压增益、电源电压抑制比、共模抑制比、共模输入范围、电源电流十项。交流参数主要包括：大信号压摆率、小信号过冲、单位增益带宽、建立时间、上升时间、下降时间六项。而其中电源电流、偏置电流、失调电流、失调电压、输出幅度、开环增益、电源电压抑制比、共模抑制比、大信号压摆率、单位增益带宽这十项参数反映了运算放大器的精度、速度、放大能力等重要指标，故作为考核运放器件性能的关键参数。

通常运算放大器电参数的测试分为两种方法：一种是单管测试法，另一种是带辅助放大器的测试方法。尽管单管测试法外围线路较为简单，但由于不同运放各项电参数差异很大，不利于计算机测试系统实现自动测试，故在生产测试中较少采用（有兴趣的人员可参考北京市半导体器件研究所李铭章教授编写的《运算放大器电参数测试方法》）。为了能采用统一的测量线路实现自动测试，发展了利用辅助放大器进行测试的新方法。

该测试方法具有以下优点：1) 被测器件的直流状态能自动稳定，且易于建立测试条件；2) 环路具有较高的增益，有利于微小量的精确测量；3) 可在闭环条件下实现开环测试；4) 易于实现不同参数测试的转换，有利于实现自动测试。鉴于运放辅助放大器测试方法所具有的优越性，该方法已被国际电工委员会（IEC）确定为运算放大器测试标准。我测试中心基于 LTX—77 测试系统开发的通用运放测试包也是参考了该标准而设计的（可参考由胡浩同志编写的《运放测试包规范》）。图 1 为运放的辅助放大器测试方法的基本原理图。

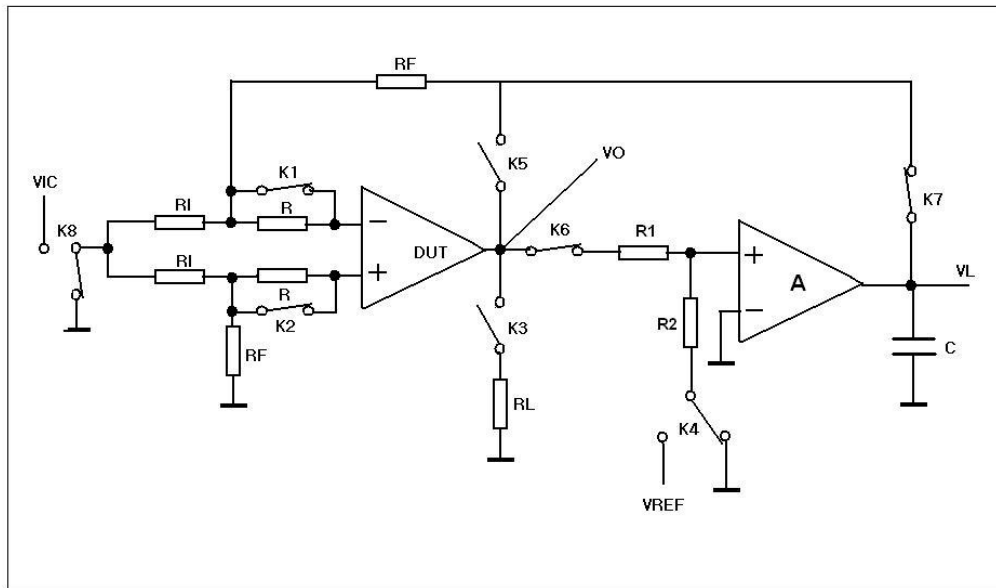


图1 运放的辅助放大器测试方法原理图。

图中运放 A 为辅助放大器，DUT 为被测运放。辅助放大器应满足以下要求：

- a. 开环增益大于 60Db；
- b. 输入失调电流和输入偏值电流应很小；

c. 动态范围足够大

环路元件应满足下列要求:

a. $R_I * I_{IB} \ll V_{IO}$

b. $R \ll R_{IO}$

c. $R * I_{IB} \gg V_{IO}$

d. $R_{OS} \ll R_F \ll R_{IO}$

e. $R_1 = R_2$

f. $R_1 \gg R_L$

g. R_F/R_I 值决定了测试精度, 但必须保证辅助运放在线性区工作。

式中: I_{IB} -----被测器件的输入偏置电流

V_{IO} -----被测器件的输入失调电压

R_{IO} -----被测器件的开环差模输入电阻

R_{OS} -----辅助放大器的开环输出电阻

注: 我测试中心通用运放测试包中 $R_I = 50 \text{ OHM}$, $R_F = 10 \text{ K OHM}$, $R_1 = R_2 = 100 \text{ K OHM}$, $R_L = 2 \text{ K}, 10 \text{ K OHM}$ 。采用的辅助运算放大器为 **LF353**。

2. 参数测试 (主要介绍 10 项常规电参数的测试)

2.1 输入失调电压 (VOS)

2.1.1 定义: 运放输出电压为零 (或规定值时: 针对单电源运放测试) 时, 运放两输入端间所加的直流补偿电压。

2.1.2 测试原理图

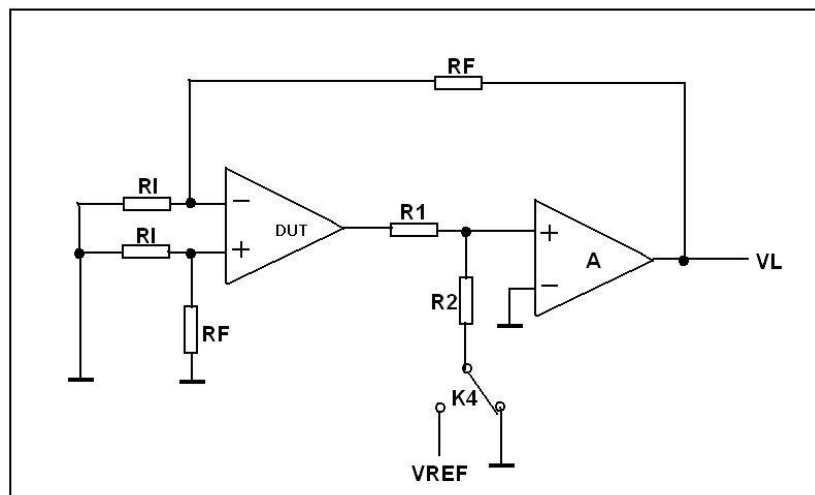


图2 失调电压测试原理图

2.1.3 测试说明

失调电压 (VOS) 测试原理如图 2, 图中 A 为辅助放大器, 其要求是闭环增益大于 40DB,

有一定的输出幅度，一般运放均可使用。由图看来，只要接入被测器件（DUT），由于总体环路很强的负反馈作用，被测器件的输出能自动调零，其总输出电压为：

$$V_L = (V_{OS} + I_{OS} * R_I) (1 + R_F / R_I) \quad \text{当 } I_{OS} * R_I \ll V_{OS}, \text{ 且 } R_F / R_I \gg 1 \text{ 时}$$

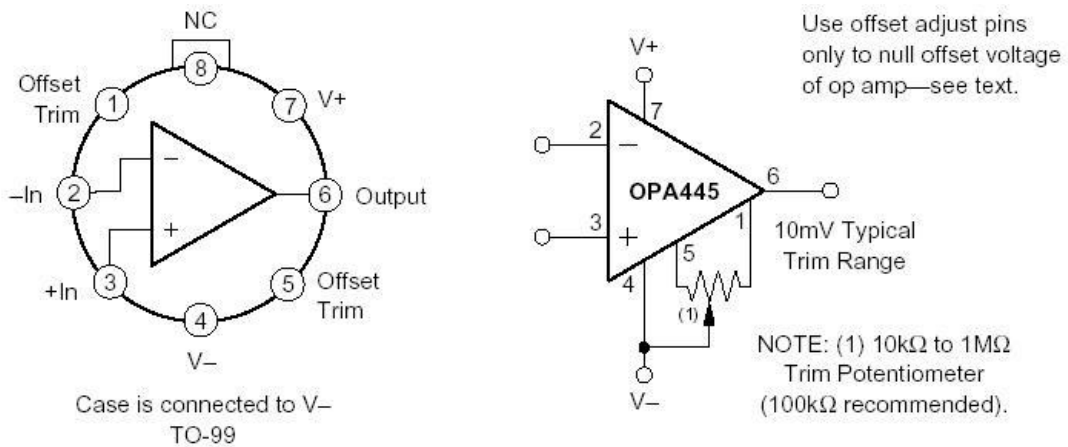
则有 $V_{OS} \cong R_I / R_F * V_L = V_L / (R_F / R_I)$ 若 $R_F = 10K$ $R_I = 50 \text{ OHM}$

那末 $V_{OS} = V_L / 200$

有式可见只要测的 V_L 值即可计算出失调电压 V_{OS} 。

2. 1. 4 注意事项

- 1) 当被测器件为单电源运放时，K4 应连接到 VREF（即 LTX-77 系统的 VS1），并设置 VREF 为-1.4V（使被测器件输出为+1.4V），被测器件的输出在正常的范围之内。
- 2) 输入失调电压的温度系数（温度漂移）的定义：在规定的温度范围内，单位温度变化所引起的输入失调电压的变化率。计算公式为： $\Delta V_{OS} = (V_{OS2} - V_{OS1}) / (T_{A2} - T_{A1})$
- 3) 输入失调电压的调零（失调电压调解范围的测试）



左图中运放的管脚 1 和管脚 5 是失调电压调零端。右图为运放失调电压调零典型连接方法。

4) 运放失调电压的单管测试法

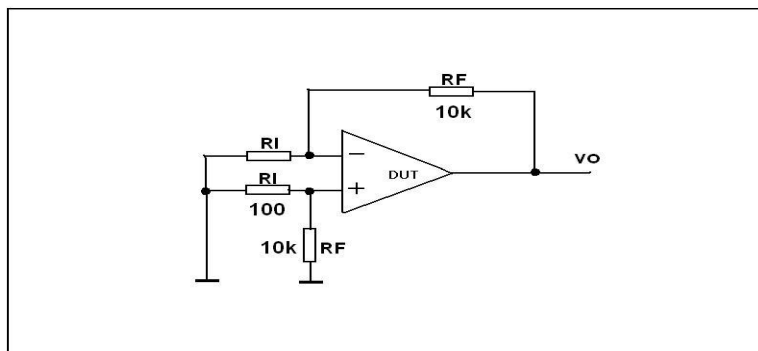


图4 运放失调电压的单管测试法

对一些复合电路（如：PWM 器件）采用单管测试法测试 V_{OS} 参数是非常方便的。图 4 为该方法的原理图，由图看出： $V_O = (V_{OS} + I_{OS} * R_I) * (1 + R_F / R_I)$ 当 $R_F = 10K$, $R_I = 100 \text{ OHM}$

时被测器件接成 100 倍的放大器。则 $V_{OS}=V_O/100$ 。因此只要测得 V_O ，即可得到 V_{OS} 。

2. 2 输入失调电流 (IOS)

2. 2. 1 定义：使被测器件输出电压为零（或规定值：针对单电源运放测试）时，流入两输入端的电流之差。

2. 2. 2 测试原理图

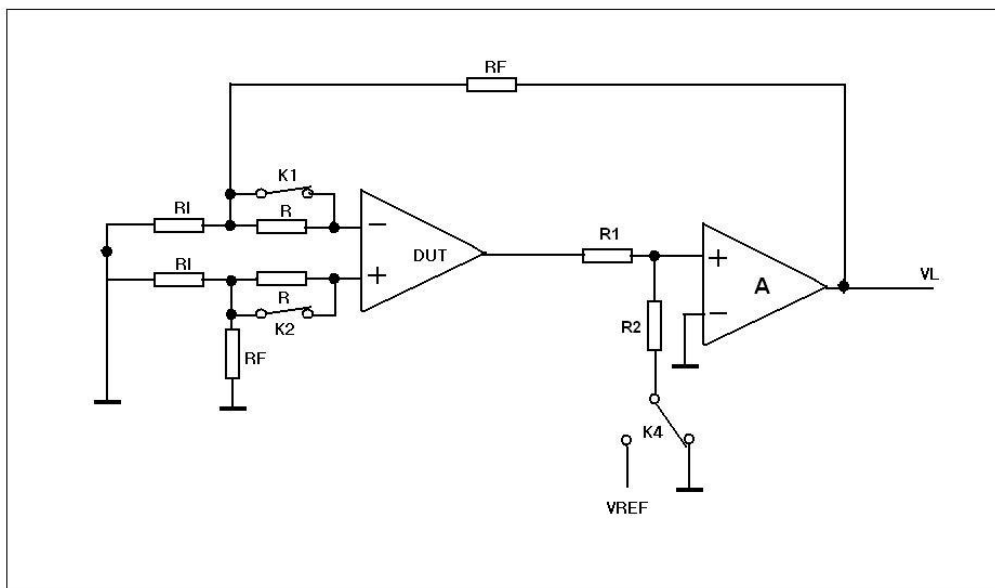


图5 失调电流测试原理图

2. 2. 3 测试说明

失调电流 I_{OS} 的测量。原理如图 5 所示，测试分两步进行，第一步 K_1, K_2 同时闭合， R 被短路，辅助运放输出为

$$V_{L1}=(1+R_F/R_I)*(V_{OS}+I_{OS}*R_I)$$

第二步将 K_1, K_2 同时断开，接入电阻 R ，辅助输出为：

$$V_{L2}=(1+R_F/R_I)*(V_{OS}+I_{OS}*R_I+I_{OS}*R)$$

两电压求差得： $V_{L2}-V_{L1}=(1+R_F/R_I)*I_{OS}*R$

所以： $I_{OS}=(V_{L2}-V_{L1})/(R*(1+R_F/R_I))$ 当 $R_F/R_I=200$ 时

$$I_{OS}=(V_{L2}-V_{L1})/(200*R)$$

显然选用适当的 R 值，只要测得 V_L 即可求出失调电流 I_{OS} 之值。

2. 2. 4 注意事项

- 1) 当被测器件为单电源运放时， K_4 应连接到 V_{REF} （即 LTX-77 系统的 V_{S1} ），并设置 V_{REF} 为 -1.4V（使被测器件输出为 +1.4V），被测器件的输出在正常的范围之内。
- 2) 输入失调电流的温度系数（温度漂移）的定义：在规定的温度范围内，单位温度变化所引起的输入失调电流的变化率。计算公式为： $\Delta I_{OS}=(I_{OS2}-I_{OS1})/(T_{A2}-T_{A1})$
- 3) R, R_I, R_F 应满足下列要求： $I_{OS}*R \gg V_{OS}$ 同时 $I_{OS}*(R_I \parallel R_F) \ll V_{OS}$
 R, R_I, R_F 的精度决定了测试精度。

2. 3 输入偏置电流 I_B

2. 3. 1 定义：使被测器件输出电压为零（或规定值：针对单电源运放测试）时，流入两输入端电流的平均值。 $IB=(IB_+ + IB_-)/2$
2. 3. 2 测试原理图

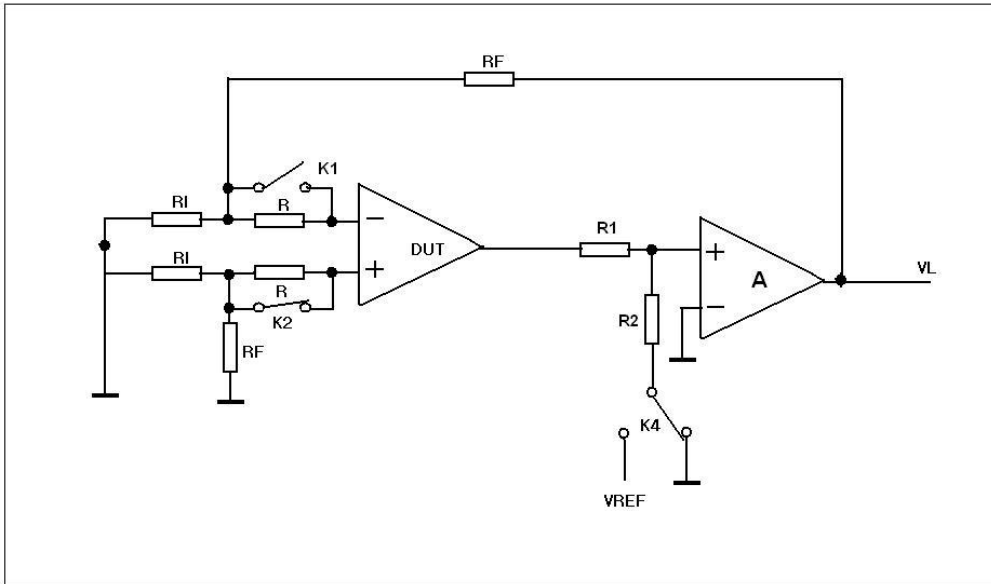


图5 偏置电流测试原理图

2. 3. 3 测试说明

输入偏置电流 IB 的测试，测试原理图与测 IOS 的原理图完全相同。测试仍分两步进行。第一步，继电器 $K1$ 断开， $K2$ 闭合，可测得： $VL1=(1+RF/RI)*(VOS+IB_*R+IOS*RI)$ 。第二步， $K2$ 断开， $K1$ 闭合，可测得： $VL2=(1+RF/RI)*(VOS-IB_*R+IOS*RI)$ 。两电压求差得： $VL1-VL2=(1+RF/RI)*(IB_+ + IB_-)*R$ 。所以： $IB=(IB_+ + IB_-)/2=(VL1-VL2)/(R*(1+RF/RI))$ 。当 $RF/RI=200$ 时： $IB=VL/(400*R)$

注意事项

关于运放的输入偏置电流和输入失调电流的测试，若按图 5 的原理进行测试，由计算公式可知，它是靠偏置电流在输入端串接的电阻 R 上产生的压降来进行测试的，但由于各种不同输入类型的运算放大器输入偏置电流差别太大，从几个 PA 到几十个 UA 约有 10^6 数量级的差别，如果选用某一固定的电阻 R 不可能对大多数运放进行精确的测量。因此我测试中心基于LTX-77 测试系统的通用运放测试包中对运放的这两项参数的测试采用了电流电压转换法来进行测试。以下做一简单介绍：

如测试原理图（图 6）中的 $A2$ 是一高输入阻抗的精密运放，由于它的输入偏置电流 $IB<0.1PA$ ，因此对测量大于 $10PA$ 的电流来说可以忽略它的影响。当开关 $K3$ 接 2 端时，被测器件（DUT）的输入偏置电流（ IB_+ 或 IB_- 视开关 $K1$ 、 $K2$ 的状态而定）经 $K3$ 流入电流电压转换电路，在 $A2$ 的输出端产生一电压 VA ，由于放大器 $A2$ 虚地作用，其反相输入端电压也近似稳定在地电位，因此该电路的接入并不影响测试环路的状态。偏置电流的计算很简单，当 IB_- 接入 $A2$ 时，由流压转换器的输出测得电压 VA ，则 $IB_-=VA/R9$ 。对于 $10Na$ 以上的偏置电流的测量均可采用这种方法。

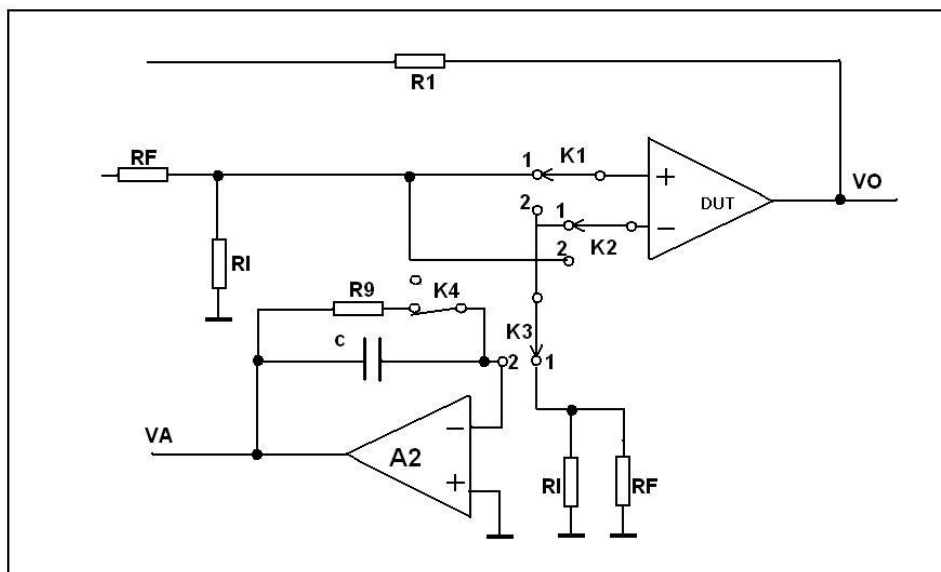


图6 电流电压转换法

但对于 10Na 以下电流的测量，由于电流在电阻 R_9 上产生的压降太小，不能准确地测出电压值 (VA)，这时可采用积分的方法。即在被测电流 IB_+ (或 IB_-)接入 A_2 电路后，断开 K_4 使电容 C 被 IB_+ (或 IB_-)充电，并在某一时刻 (T_1) 采得该时刻的输出电压 VA_1 ，由于 A_2 反相端始终为地点位 (虚地)，因此充电电流 IB_+ (或 IB_-)在充电过程中保持不变，设在 T_2 时刻由 A_2 输出端采得电压为 VA_2 ，则可由下式计算出电流 IB_+ (或 IB_-)：

IB_+ (或 IB_-)= $K*(VA_2-VA_1)/(T_2-T_1)$ 式中 K 为一比例常数。由上式的结果就可进一步算出输入偏置电流 IB 和输入失调电流 IOS 分别为：

$$IB=(IB^+ + IB^-)/2$$

$$IOS=IB^+ - IB^-$$

我测试中心所采用的电流电压转换器中 A_2 为 $AD515$ ， $R_9=1\text{MOHM}$ ， $C=100\text{PF}$ ， $T_2-T_1=100\text{ms}$ 。（详细资料可参考通用运放测试包文档）

2.4 静态功耗 PD

2.4.1 定义：输入端无信号且输出端无负载时，器件所消耗的电功率。

2.4.2 测试原理图（见图 7）

2.4.3 测试说明：被测器件电源端施加规定的电压，开关 K_4 接地（或规定的参考电压）。在电源端 V_+ 及 V_- 分别测得 I_+ 及 I_- 。由下式计算出 PD ：

$$PD=(V_+*I_+)+(V_-*I_-)$$

2.4.4 注意事项：

- 1) 使用 $LTX-77$ 系统中通用运放包测试功耗（或静态电流）时，要注意断开输出负载 ($OPEN\ VI_4$)，否则测得的功耗偏大。
- 2) 测试高速运放时（如 $LM118$ ， $AD847$ 等），为提高功耗测试的准确性，可以禁止辅助运算放大器 ($CLOSE\ CBITS\ A\ BITS\ 10$)。
- 3) 测试双运放、四运放时，要注意有些产品数据手册中的功耗为单个运放的。

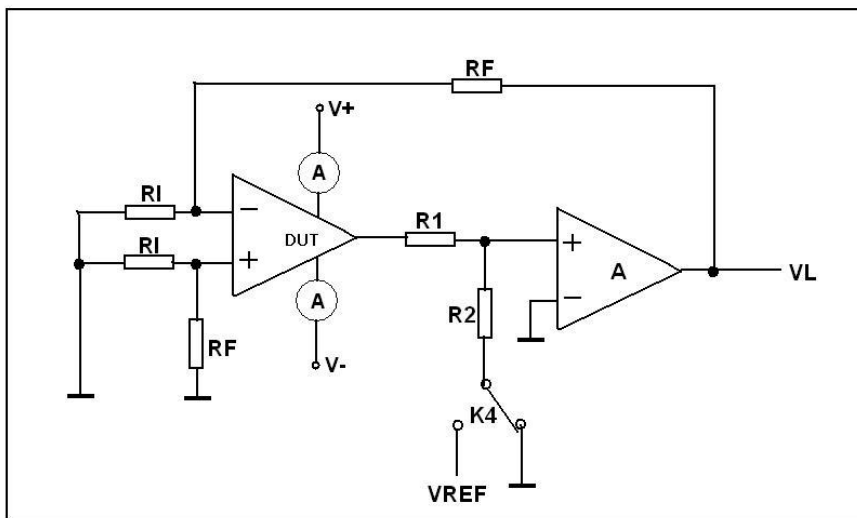


图7 静态功耗测试原理图

- 2. 5 开环电压增益 (A_{vd})
- 2. 5. 1 定义：器件开环时，输出电压变化与差模输入电压变化之比。
- 2. 5. 2 测试原理图（图 8）

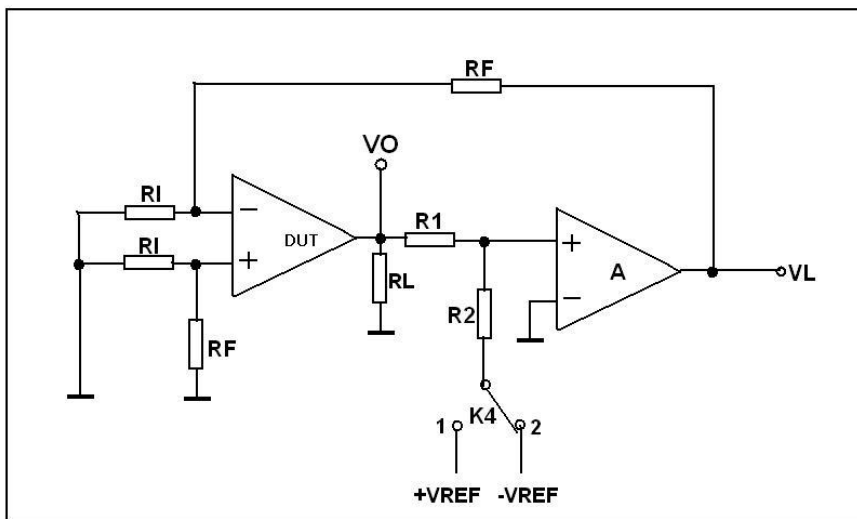


图8 开环增益测试原理

2. 5. 3 测试说明:

开环增益 A_{vd} 的测试, 测试电路图如图 8 所示。测试 A_{vd} 时, 根据规定接入适当的负载 R_L , (注: 若测试条件规定负载值为 R_1 时, R_L 可不接入, 负载即为 R_1)。确定负载后即可进行测试。第一步先将开关 K_4 置于位置 1, 接入信号源 $+V_{REF}$, 则被测器件输出电压 $VO_1 = -V_{REF}$ (因为辅助运放虚地的作用)。此时辅助运放的输出电压: $VL_1 = -(1+R_F/R_I) \cdot (V_{REF}/A_{vd}) + (1+R_F/R_I) \cdot (V_{OS} + I_{OS} \cdot R_I)$

第二步再将 K_4 置于 2 位置, 接入信号源 $-V_{REF}$, 则 $VO_2 = +V_{REF}$ 。辅助运放输出电压为: $VL_2 = (1+R_F/R_I) \cdot (V_{REF}/A_{vd}) + (1+R_F/R_I) \cdot (V_{OS} + I_{OS} \cdot R_I)$ 。两电压求差得: $VL_2 - VL_1 = 2 \cdot (1+R_F/R_I) \cdot (V_{REF}/A_{vd})$

所以: $A_{vd} \approx (R_F/R_I) \cdot 2 \cdot V_{REF} / (VL_2 - VL_1)$ 若: $R_F/R_I = 200$ 且 $V_{REF} = 10V$

则: $A_{vd} = 200 \cdot 20V / \Delta VL$ 或 $A_{vd} = 20 \cdot \log(200 \cdot 20V / \Delta VL)$ (dB)

因此只要测得 ΔVL , 即可求得 A_{vd} 值。

2. 5. 4 注意事项:

- 1) 开环增益的测试分为两种方法: 直流测试法和交流测试法。这两种方法原理基本相同。我公司基于 LTX-77 测试系统的通用运放包采用直流测试法。
- 2) 对于高速运放, 为精确测试出其开环增益, 可适当延长测试时间(加长测试等待时间)同时采用差分测试方法。
- 3) 国外部分电路生产厂家对该项参数的定义分为正开环增益 ($+A_{vd}$) 和负开环增益 ($-A_{vd}$), 测试器件时要加以注意。
- 4) 我测试中心对开环增益参数测试能力为 $\leq 140dB$ 。对于更高增益的器件不能保证测试精度。

2. 6 输出电压幅度 V_{opp}

2. 6. 1 定义: 器件在规定的电源电压和负载下, 所能输出的最大峰—峰值电压。

2. 6. 2 测试原理图(同图 8)

2. 6. 3 测试说明:

开关 K_4 置于“1”, 在被测器件 (DUT) 输出端测得电压 VO_1 。
开关 K_4 置于“2”, 在被测器件 (DUT) 输出端测得电压 VO_2 。
 VO_2 、 VO_1 分别为器件正、负输出峰值电压。

2. 6. 4 注意事项:

- 1) V_{REF} 必须大于被测器件的输出峰值电压 (V_{opp}), 一般情况下设定 V_{REF} 值为电源电压值 (V_S)。
- 2) 有些功率运放(如: LM12)该项参数采用饱和压降来表示 ($V_S - V_{opp}$), 应特别注意。
- 3) 为简化测试线路, 可采用单管法开环测试器件的输出峰值电压。(对仪表运放、PWM 器件尤为简便)

2. 7 电源电压抑制比 $KSRR$

2. 7. 1 定义: 电源的单位电压变化所引起的器件输入失调电压的变化率。

2. 7. 2 测试原理图(见图 9)

2. 7. 3 测试说明:

电源电压抑制比 $\pm KSRR$ 的测试, 原理图如图 9。整体测试分为三步进行: 第一步, 将 K 置于位置“1”上, 此时被测器件 (DUT) 的电源电压为正常电压

($\pm V_S$)，得出辅助运放 (A) 输出电压 V_{L1} 。(VL1=VOS)

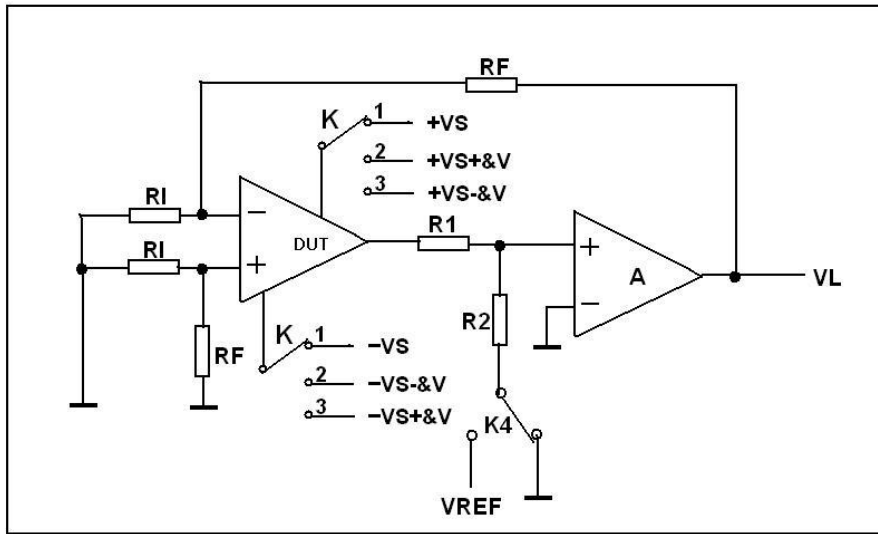


图9 电源电压抑制比测试原理图

第二步，将 K 置于位置“2”上，此时被测器件 (DUT) 的电源电压为 $+V_S+\Delta V$ 、 $-V_S-\Delta V$ ，测出辅助运放输出电压为 V_{L2}

第三步，将 K 置于位置“3”上，此时被测器件 (DUT) 的电源电压为 $+V_S-\Delta V$ 、 $-V_S+\Delta V$ ，测出辅助运放输出电压为 V_{L3}

由 K_{SRR} 定义 ($\Delta V_O/\Delta V_S$) 可得：

$$K_{SRR1}=(V_{L2}-V_{L1})/(2*\Delta V)*(R_I/(R_F+R_I))$$

$$K_{SRR2}=(V_{L3}-V_{L1})/(2*\Delta V)*(R_I/(R_F+R_I))$$

若正电源电压变化 ΔV ，负电源电压不变，在辅助放大器 (A) 输出端测得电压 V_{L4} 。则： $K_{SRR+}=(V_{L4}-V_{L1})/\Delta V*(R_I/(R_I+R_F))$

若负电源电压变化 ΔV ，正电源电压不变，在辅助放大器 (A) 输出端测得电压 V_{L5} 。则： $K_{SRR-}=(V_{L5}-V_{L1})/\Delta V*(R_I/(R_I+R_F))$ 。

2. 7. 4 注意事项：

- 1) 如果辅助放大器 A 的电源电压也随着被测器件电源电压一同变化，则要求其 K_{SRR} 值比被测器件的 K_{SRR} 值至少高一个数量级。
- 2) 不少器件参数手册中 K_{SRR} 采用分贝值表示，此时要特别注意参数的换算。
- 3) 测试该项参数时，不需要单独加负载。

2. 8 共模抑制比 CMRR

2. 8. 1 定义：差模电压增益与共模电压增益之比。

2. 8. 2 测试原理图（见图 10、图 11）

2. 8. 3 测试说明：

共模抑制比 CMRR 的测试。可用两种方法：

第一种方法：由器件输入端加入共模信号的测试（简称共模输入法），测试原理如图 10 所示。测试过程分两步，第一步将开关 K 置于位置“1”，此时在辅助放

大器 A 的输出测得电压 VL1。

则 $VL1=(1+RF/RI)*(VOS+IOS*RI)+(1+RF/RI)*VIC+/CMRR$

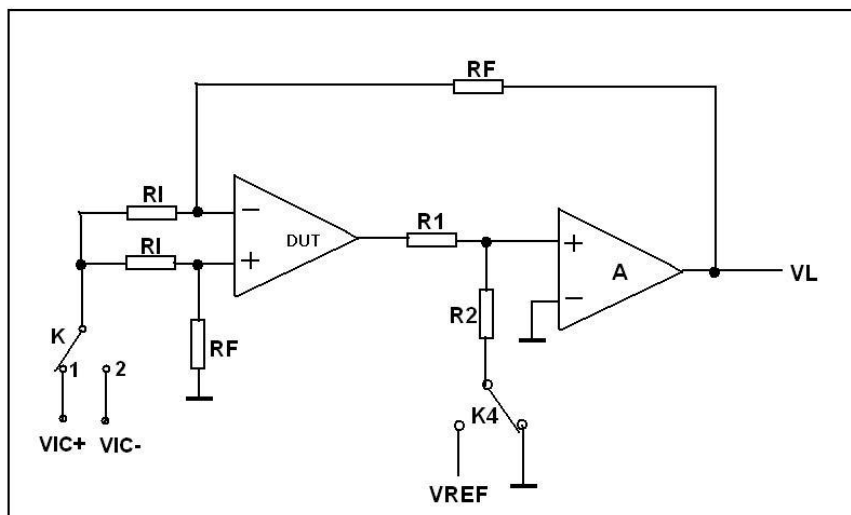


图10 CMRR测试原理图（共模输入法）

第二步将 K 置于“2”位置，在辅助放大器输出端测得电压 VL2。

$$VL2=(1+RF/RI)*(VOS+IOS*RI)+(1+RF/RI)*VIC-/CMRR$$

两式相减可得： $VL1-VL2=(1+RF/RI)*(VIC+-VIC-)/CMRR$

$$CMRR=(1+RF/RI)*(VIC+-VIC-)/\&VL \quad \text{如以分贝表示，则}$$

$$CMRR=20*LOG((1+RF/RI)*(VIC+-VIC-)/\&VL)$$

因此只要测得 VL1、VL2 即可求得 CMRR 值。共模输入法的缺点是要求电阻 RF 和 RI 的精确度要优于 0.01%。同时测试线路的装配也要特别注意。为克服这一缺点。目前通常采用变电源法测试 CMRR。

第二种方法：变电源法测试 CMRR。测试原理图如图 11，由图可看出，当开关 K 置于位置“1”时，被测器件正电源变为 $VCC+VS$ ，负电源 VEE 变为 $VEE+VS$ ，被测器件输出变为 VS，这就使加在 DUT 电源与输出端之间的电压不变，这与在 DUT 输入端加入 VS 电压等效。同理当 K 置于“2”位置时，VCC 变为 $VCC-VS$ ，VEE 变为 $VEE-VS$ ，DUT 输出变为 $-VS$ ，这与在 DUT 输入端加入 $-VS$ 电压等效。由图 11 可看出，由于被测器件两输入端对地电位为零，因此电阻 RF、RI 不精确就不会引入共模误差电压，误差只反映在 $(1+RF/RI)$ 项中，故只要求 RF 和 RI 的精度小于 10%即可。这就从理论上解决了测量高共模抑制比器件的问题，目前我测试中心通用运放测试包通常采用该方法。

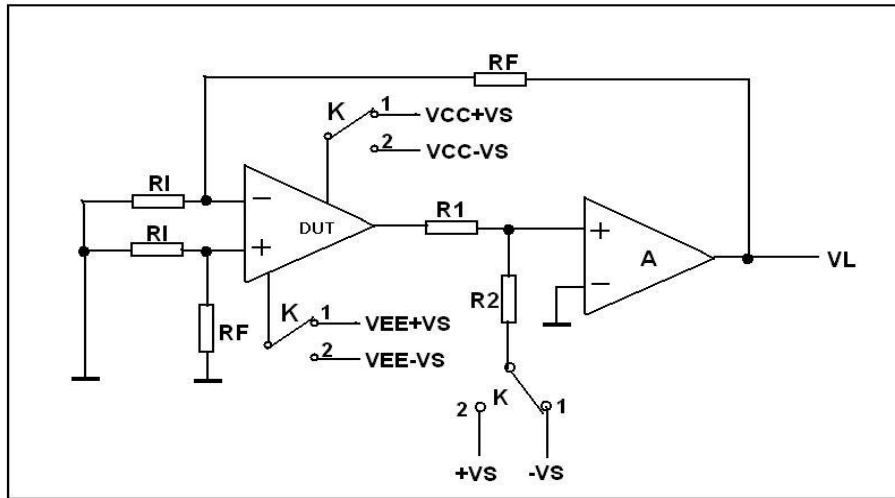


图11 CMRR测试原理图（变电源法）

2. 8. 4 注意事项:

- 1) 采用共模输入法测试 CMRR 时要满足 $|VIC| < VICM$ 。式中 $VICM$ 为被测器件的最大共模输入电压。
- 2) 采用变电源法测试 CMRR 时要满足 $|VS| < Vopp$ 。式中 $Vopp$ 为被测器件的输出峰峰值电压。
- 3) 利用我公司通用运放测试包测试高共模抑制比器件时 ($\geq 80dB$)，一般建议采用变电源法进行测试，以提高测试精度。

2. 9 大信号压摆率（转换速率 Sr ）

2. 9. 1 定义：输入端在施加规定的大信号阶跃脉冲电压时，输出电压随时间的最大变化率。

2. 9. 2 测试原理图：（见图 12）

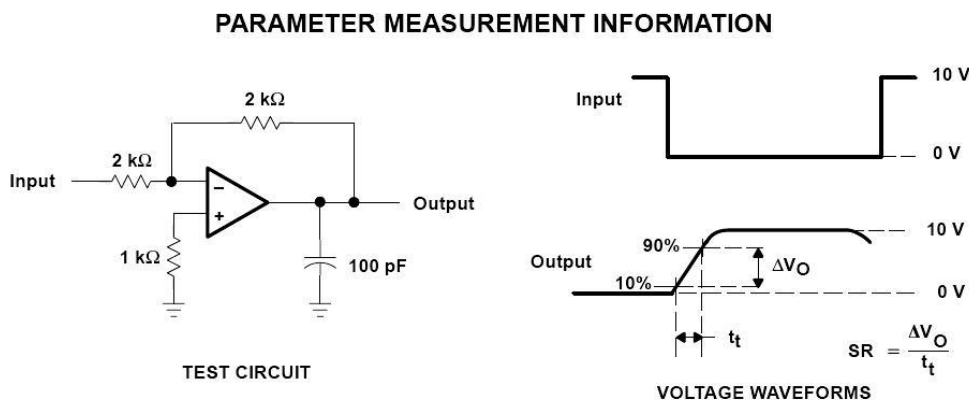


图12 Slew Rate 测试原理图

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

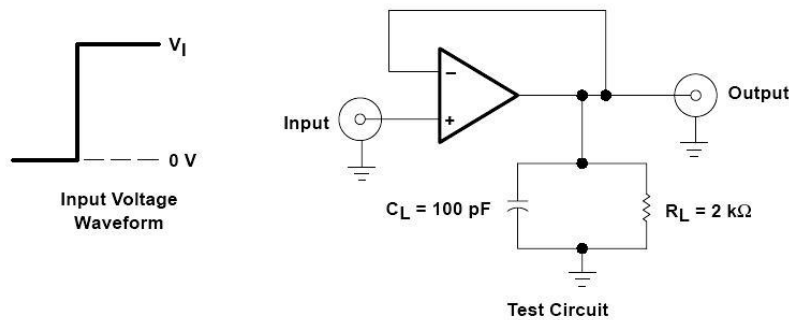


图12B 跟随器法 Slew-Rate Test Circuit

2. 9. 3 测试说明：通常情况下 S_r 参数的测试线路有两种：倒向器法和跟随器法。如图 12 所示，器件输入端施加规定的脉冲信号电压，在器件的输出端从规定过冲量的输出脉冲电压上升沿（或下降沿）的恒定变化率区内，测的输出电压幅度 ΔV_o 和对应的时间 t_r 。由下式计算出压摆率 S_r ：

$$S_r = \Delta V_o / t_r$$
2. 9. 4 注意事项：
- 1) 测试器件时负载电阻、负载电容应符合器件详细规范的规定。
 - 2) 输入脉冲信号的电压幅度、上升时间、下降时间应符合器件详细规范的规定。
 - 3) 采用 SAI710 测试包测试该项参数时，时间测试单元（TFE）应设置为 50 OHM 阻抗。
 - 4) 部分高速运算放大器（如 LF157）的稳定条件为 $A_{vd} > 5$ ，测试该项参数时应特别注意环路条件，不可采用跟随器方法。
 - 5) 运放的压摆率（ S_r ）是高速运放的主要参数。为防止分布电容的影响，线路中的 R 值应取得小些较好。由实际测试可知，采用跟随器方法和采用倒向器方法测得的结果不完全一致，应取测试结果中值小的。
2. 10 单位增益带宽 Unity Gain Bandwidth
2. 10. 1 定义：使运放开环增益为 1 (0dB) 时所对应的输入频率 (f_{GWB})。
2. 10. 2 测试原理图：如图 13
2. 10. 3 测试说明：
- 单位增益带宽 f_{GWB} 的测试，原理电路如图 13。测试时将 200KHZ 的正弦信号 f_{in} 加在被测器件（DUT）的同相输入端，幅度有效值为 V_{ia} 。由 DUT 的输出端测的交流信号电压 V_{oa} （有效值）。根据 $f_{GWB} = A_{vd1} * f_{in}$ ，（ A_{vd1} 为 200KHZ 频率下所测得的开环增益）可得： $f_{GWB} = f_{in} * (V_{oa} / V_{ia}) * (1 + R_I / R_F)$ 。若 $V_{ia} = 1V$ ， $R_I / R_F = 200$ ， $f_{in} = 200KHZ$
- 则： $f_{GWB} = 200KHZ * V_{oa} * 200$
2. 10. 4 注意事项：
- 1) 输入信号频率应满足： $f_{pp} \ll f_{in} \ll f_{GWB}$ 。其中 f_{pp} 为全功率带宽。（注：一般

情况下 $f_{pp} = S_r / (2 * 3.14 * V_{omax})$)

- 2) 对于高增益运放、当输入信号失真度偏大时，会引起被测器件输出端出现直流饱和。我测试中心为保证测试精度，同时抑制感应和噪声的影响，在 DUT 上引入了适当的负反馈，使直流增益适当降低。

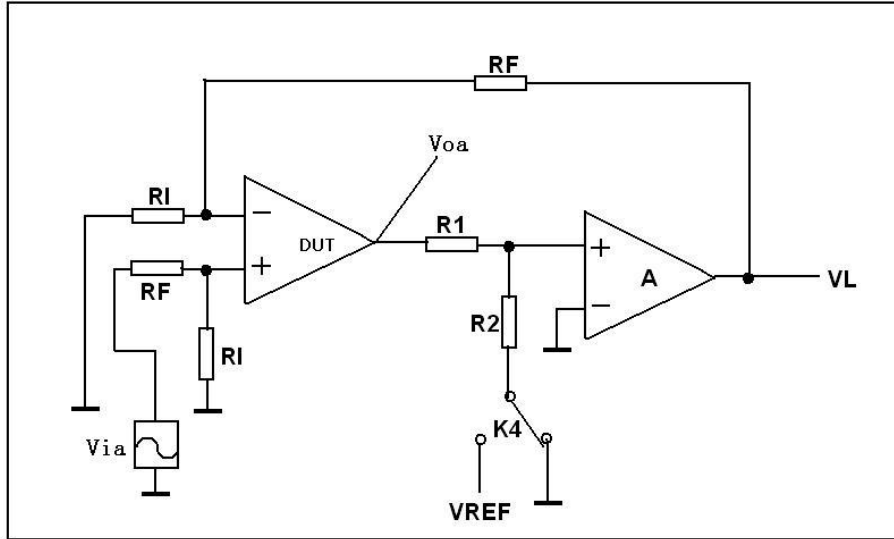


图13 单位增益带宽参数测试原理图

以上即为通用运算放大器常规 8 项直流参数和 2 项交流参数的测试原理和实现方法。关于其它参数和交流参数的测试可参考我国电子部制定并发布的国家标准 (GB3442-85)《<< 半导体集成电路运算放大器 (电压) 测试方法的基本原理 >>》。