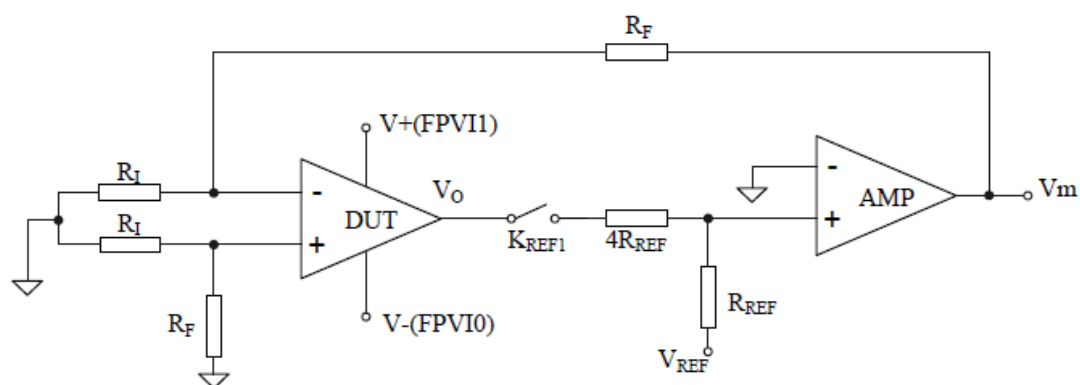
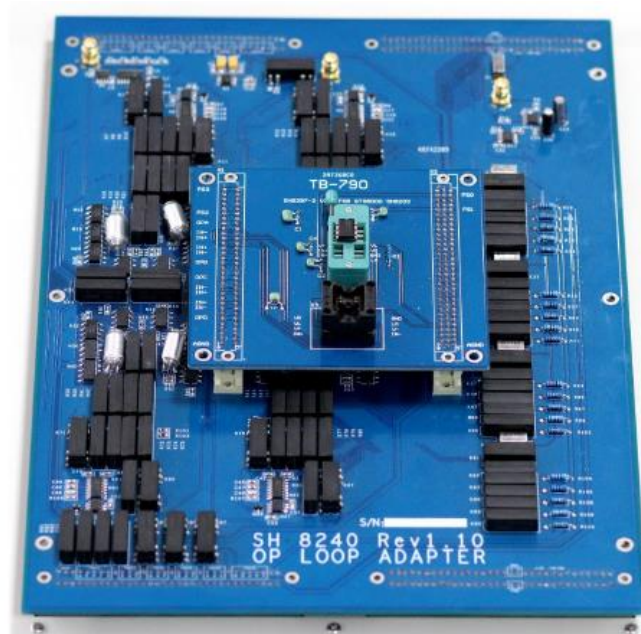


大家好，华峰小微在新年伊始祝愿各位新年快乐，工作顺利，不知道大家是否已经开始使用我们的测试设备检测 2020 年的第一批器件了？欢迎各位将新年测试的第一种器件型号和使用的机型用留言的方式回复给我们，看看大家是否有测试上的“偶遇”。我相信这些类型里面肯定有运算放大器，作为最常见的模拟器件品种，运算放大器的测试其实并不简单，我们计划通过几期的推送，向大家介绍一下运放常见参数的测试，今天就从最基本的参数开始——输入失调电压。

输入失调电压的定义为：使被测器件输出电压为零或规定值时，两输入端间所施加的直流补偿电压。由于输入失调电压一般都非常小，所以无法直接按照定义测试，因此引入辅助运放，通过运放环路来测试：



2019 年，我们在全新机型 STS8207S 模拟器件测试系统上推出了全新的运放环类别板，在这块型号为 SH8240 的类别板上，一共有四路运放环，用于测试常见的单、双、四运放。结构上，新的运放环类别板替代了原 STS8205 混合信号测试系统位于测试头内的两块 OPL 模块和运放类别板，将两者合二为一，在兼容原通用适配器（单、双、四运放、双、四比较器）的同时，在各个方面都有了卓越的提升。



运算放大器最重要的参数，也往往是第一个测试的参数就是输入失调电压 **VOS**。一个工程师在编写运放参数时，一般应该首先编写 **VOS** 参数，并且只先测试 **VOS** 参数。如果 **VOS** 测试合格并且稳定，那么才有测试后续参数的意义。反之，如果 **VOS** 测试不正确，就必须先解决 **VOS** 的测试问题，如果无法完成 **VOS** 参数，那么全部闭环参数（**IB**、**IOS**、**AVO**、**CMRR**、**PSRR**）的测试都没有意义。

下面我们来看一看输入失调电压编程时需要填入哪些条件：

1. 器件的电源：无非两种情况，双电源或者单电源：

V+	15	V	器件正电源电压（FPVI1）
V+_VRng	±20V		VDD电压量程
V+_IRng	±100mA		VDD电流量程
V+_Clamp1	100	mA	VDD电流上限箝位
V+_Clamp2	-100	mA	VDD电流下限箝位
V-	-15	V	器件负电源电压（FPVI0）
V-_VRng	±20V		VSS电压量程
V-_IRng	±100mA		VSS电流量程
V-_Clamp1	100	mA	VSS电流上限箝位
V-_Clamp2	-100	mA	VSS电流下限箝位

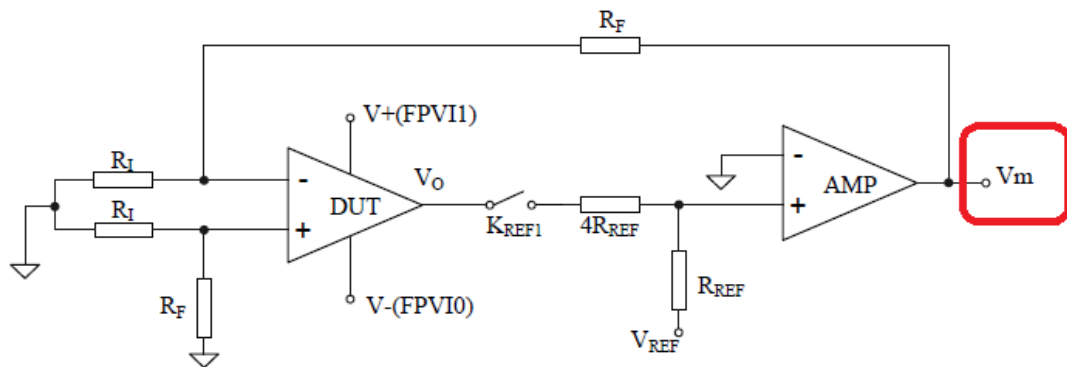
典型的±15V 双电源

V+	5	V	器件正电源电压（FPVI1）
V+_VRng	±20V		VDD电压量程
V+_IRng	±100mA		VDD电流量程
V+_Clamp1	100	mA	VDD电流上限箝位
V+_Clamp2	-100	mA	VDD电流下限箝位
V-	0	V	器件负电源电压（FPVI0）
V-_VRng	±20V		VSS电压量程
V-_IRng	±100mA		VSS电流量程
V-_Clamp1	100	mA	VSS电流上限箝位
V-_Clamp2	-100	mA	VSS电流下限箝位

典型的 5V 单电源

2. 被测器件的输出电压：这个条件可能在器件手册上没有表述，一般情况正负电源的器件 **VO** 设置为 **0V**，单电源的器件可以设置为正电源电压的一半。如果器件手册有要求，就要按照手册上设置。
3. 环路增益：在 **STS2107** 时代，只有两个增益可以选择，**500** 倍和 **50** 倍。之后 **STS8105** 和 **STS8205** 上的运放环 **OPL** 模块可以选择的环路增益为 **100** 倍、**1000** 倍和 **10000** 倍，并且还有另外一级的放大，可以再放大 **1** 倍、**10** 倍和 **100** 倍，最大增益可以到 **100** 万倍。新运放环路，环路增益为 **100** 倍、**1000** 倍和 **10000** 倍，得益于先进的环路设计和优秀的测试精度，测试 **uV** 级别的失调电压使用 **10000** 倍就足够了。

如果对于环路增益没有概念，我们可以简单直接的理解为运放环将很小的输入失调电压放大相应的倍数，放大后的电压就是下图的 V_m ，放大倍数就是 R_f/R_i ，这样就可以测试了：



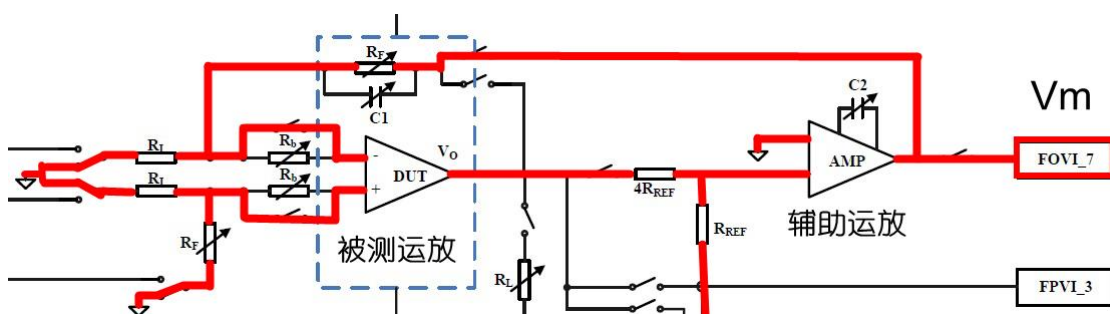
比如： $V_{OS}=1\text{mV}$ ，环路增益 1000 倍，就是把 V_{OS} 放大到 1V，通过测试 1V 这个电压，计算 $V_{OS}=1\text{V}/1000=1\text{mV}$

比如： V_{OS} 很小只有 $10\mu\text{V}$ ，如果选择 1000 倍环路增益，在 V_m 这个点测试的电压就是 10mV ，如果选择 10000 倍环路增益，在 V_m 这个点测试的电压就是 100mV ，显然测试 100mV 比测试 10mV 更容易一些，因此选择 10000 倍增益测试

下面开始划重点：

得益于 STS8200 平台浮动源的软件示波器功能，在新运放环路中，我们可以使用软件示波器查看 V_m 的波形，也就是在测试输入失调电压时，可以通过软件示波器确定我们的运放环路是否稳定，从而辅助我们的工程师判定输入失调电压是否正确。

在新运放环路中，实际电路的原理图如下（图片来自运放编程手册）：

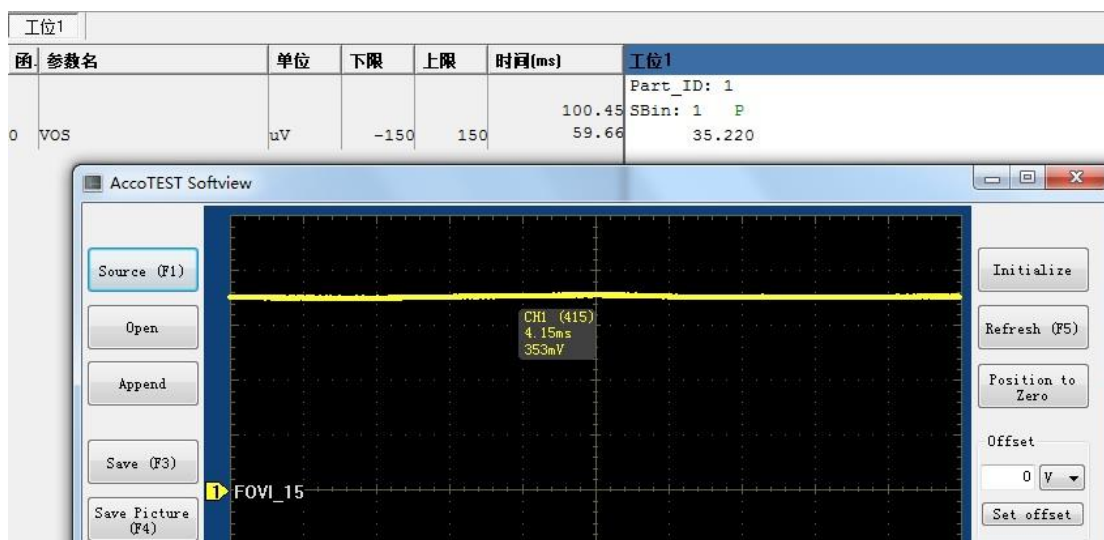


我们将输入失调电压的线路用红色线段标记出来，其实就是最基本的运放环原理图，这里 V_m 的测试是由 FOVI 实现的，因此可以通过软件示波器看到 V_m 的波形：

比如我们测试一个输入失调电压约为 $35\mu\text{V}$ 的单运放，只测试 V_{OS} 一个参数后，就可以打开软件示波器观看这个参数的 V_m 波形了，我们选择 1000 倍增益：



图中可以读出 V_m 的数据，约为 35mV，程序中 V_m 选择的电压量程为 10V，因此读数的分辨率约为 1mV，波形略微有一些跳动（如果在 PGS 编程界面选择 1V 档位则不会出现）。如果选择 10000 倍增益，软件示波器的读数变化为 353mV：



通过上面两张图，我们可以看出不同增益下 V_m 的数值是不同的，测试 353mV 要比测试 35mV 更好一些，得益于 STS8200 的 VI 源的精度，两种情况下的测试结果并没有太大的差异，但我们仍旧建议测试 uV 级输入失调电压，采用 10000 倍的环路增益。

我们也必须强调一下：并不是全部的失调电压都应该选择 10000 倍增益测试。如果器件的 VOS 为 5mV，放大 10000 倍意味着 V_m 为 50V，而实际运放环电路中辅助运放输出最大值约为 12-13V， V_m 的测试 VI 源 F0V1 默认量程为 10V。这样的测试选择就会导致每一次测试的 V_m 值都是 10V，计算出的 $VOS=10V/10000=1mV$ 。虽然我们的程序中有超量程提醒，保证绝大多数情况下不会出现这种错误，但是工程师必须注意这个问题。

4. 两个补偿电容的选择：就像环路增益的选择一样，这两个补偿电容的选择也是无法在器件手册里找到的，这些参数属于运放环路的参数，目的都是让测试环路稳定可靠，保证测试正确。

g_loop	×10000	倍	环路增益
loop_adjust	1000pF		环路增益补偿电容（默认选“无”）
rload	none		负载电阻
opl_adjust	1000pF		辅助运放调节（默认选“1000pF”）
delay_time	20	ms	测量延时

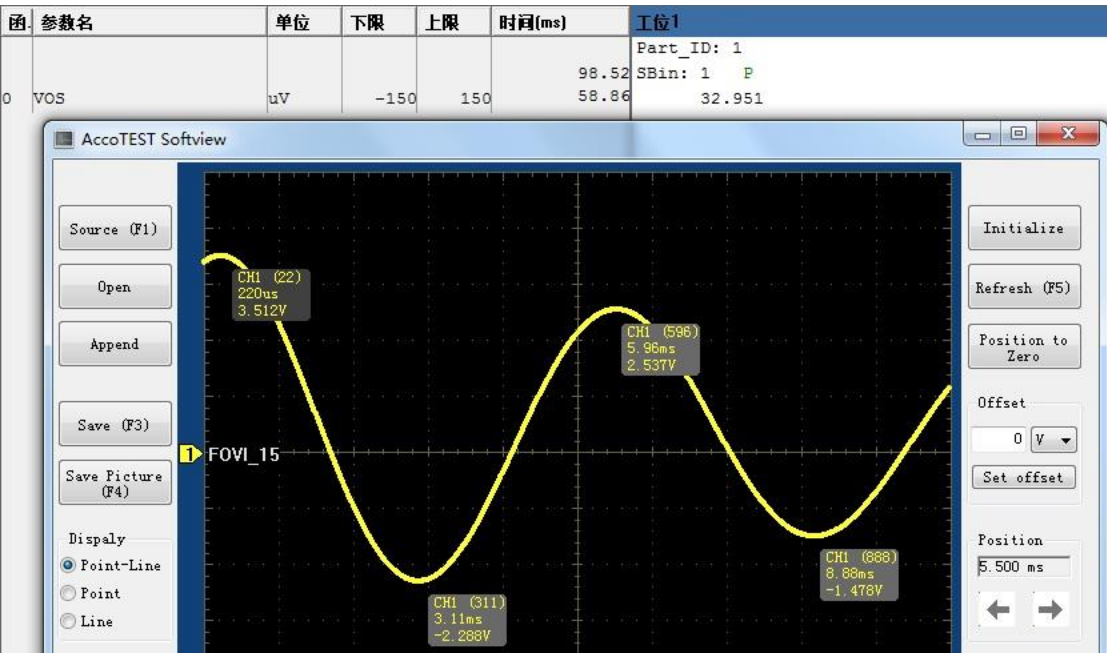
两个补偿电容分别是：环路增益补偿电容和辅助运放调节电容，我们不是一次被问到如何能够知道应该选择什么样的组合才能确保测试是正确的。面对这样的问题，我们提供给用户两个常用的选择一个不变的原则

两个常用的选择：

- a) 环路增益补偿：无 辅助运放调节：1000pF
- b) 环路增益补偿：1000pF 辅助运放调节：1000pF

一个不变的原则是：用软件示波器确定波形是否稳定。

上文中的那个器件，在选择两个补偿电容不合适的时候，会看到如下的波形：



显然，Vm 的波形还没有稳定。本例中，实际测试结果 VOS 为 32.9uV，符合判据，多次测试也是稳定的，很容易被误判为合格。但是波形显示这是一个不稳定的结果，仅仅是因为多次采样计算后的数据满足了判据，因此结果是错误的。

下面开始划重点：

有些人看到这个例子可能就会产生巨大的疑虑：难道每个测试的参数都需要这样看波形么？下面我们来解决这个问题：

我们先只在运放的测试范围内讨论这个复杂的问题：

- 第一次对一个运算放大器编程，应首先编写输入失调电压 **VOS**，并且只测试 **VOS** 这个参数。
- 测试 **VOS** 时，需要选择合适的增益、补偿和延时时间，利用软件示波器确定 **VOS** 的 **Vm** 波形是稳定的。
- 然后再对 **Ib**、**AVO**、**CMRR**、**PSRR** 编程，这些闭环参数的增益、补偿和延时时间建议与 **VOS** 一致。
- 编写完程序后，建议找多只器件测试、并且测试多次以确定测试稳定。
- 测试稳定后，就可以按照这个编写好的测试程序进行测试了，当遇到测试不合格时再具体分析原因。

综上，输入失调电压这个参数，是运算放大器测试时最重要的参数，如果 **VOS** 参数测试不稳定，其他的闭环参数的测试也没有任何意义。运放的测试并不简单，受限于篇幅，我们在这里不可能面面俱到的介绍，希望各位工程师在每次测试运放时都可以慢慢的积累和提高。

如果想在运放测试上有所提高，我们建议您在读完这篇文章之后实际操作一下运算放大器的测试。选择不同的增益测试失调电压，选择不同的补偿测试失调电压，并观察一下 **Vm** 的波形，更进一步您可以试试改变一下器件输出 **Vo** 的设定值，看看 **Vo** 改变时，**VOS** 是怎么变化的。

我们下期见！