

运放测试之输出电压摆幅

今天我们以一个 Rail-to-Rail 运算放大器为例，介绍 STS8207S 是如何测试运放输出电压的，这个器件的型号是：OPA192。

什么是 Rail-to-Rail 运算放大器？简单概括就是器件的输出电压能够非常接近器件的电源，这是一般运算放大器做不到的，OPA192 的输出电压参数描述如下：

OUTPUT					
V_o Voltage output swing from rail	Positive rail	No load	5	15	mV
		$R_{LOAD} = 10 \text{ k}\Omega$	95	110	
		$R_{LOAD} = 2 \text{ k}\Omega$	430	500	
	Negative rail	No load	5	15	
		$R_{LOAD} = 10 \text{ k}\Omega$	95	110	
		$R_{LOAD} = 2 \text{ k}\Omega$	430	500	

有很多 Rail-to-Rail 运算放大器手册中对于 V_o 判据的描述都是这个形式的，它表示的是输出 V_o 与器件电源 V_s 的差值。以正输出为例，No load 情况下判据最大值 15mV 不代表器件输出电压 V_o+ 应小于 15mV，而是 V_o+ 应大于器件正电源 $V_s - 15\text{mV}$ 。

如果器件正电源电压为 18V，这种情况下 No load 情况下，器件 V_o+ 应该大于 17.985V，这就是 Rail-to-Rail 运算放大器的特点。

所以测试 OPA192 的输出电压就需要明确器件需要在多大电源电压下测试，找到器件手册关于电源部分的描述：

6.7 Electrical Characteristics: $V_s = \pm 4 \text{ V to } \pm 18 \text{ V}$ ($V_s = +8 \text{ V to } +36 \text{ V}$)

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{CM} = V_{OUT} = V_s / 2$, and $R_{LOAD} = 10 \text{ k}\Omega$ connected to $V_s / 2$, unless otherwise noted.

这句话的意思是，器件可以在 $\pm 4\text{V}$ 到 $\pm 18\text{V}$ 下工作，所以测试时除非有特殊说明，选择任何满足这个条件的电源电压都可以。而 () 中的 $V_s=+8\text{V to } +36\text{V}$ 则是器件单电源工作时的电源要求，其实根据运放可以变电源工作的原理，两种描述是完全一样的。（如果这里不明白，说明对于运放变电源还不理解，请参考 CMRR 变电源法相关内容）

同时，“ $V_{CM}=V_{OUT}=V_s/2$, $R_{LOAD}=10\text{K }\Omega$ connected to $V_s/2$ ”如果在双电源情况下，如 $\pm 18\text{V}$ ，应当理解为 $V_{CM}=V_{OUT}=0$, $R_{LOAD}=10\text{K }\Omega$ 连接到 0V ，和我们标准运放环路完全一致。

下面来说 V_o 的测试，在 STS2107 测试系统中， V_o 是使用的闭环法测试的。在 STS8105 和 STS8205 测试系统中， V_o 有两种测试方法：闭环法和开环法。今天，我们使用 STS8207S 的新运放环测试 V_o ，在这里要画一个重点：

忘记闭环法，在能够用开环法测试 V_o 的时候，永远用开环法测试 V_o ，除非你能完全理解闭环法测试。

（两种方法测试原理不同，但是测试结果是完全一样的，这里强调使用开环法，仅仅是因为开环法更容易理解）

开环法的原理很简单，运放同相输入端给一个电压，反相输入端接地，那么运放将偏向器件正电源，这时测试的就是运放的 V_o+ 或 V_{oh} ，如下图：

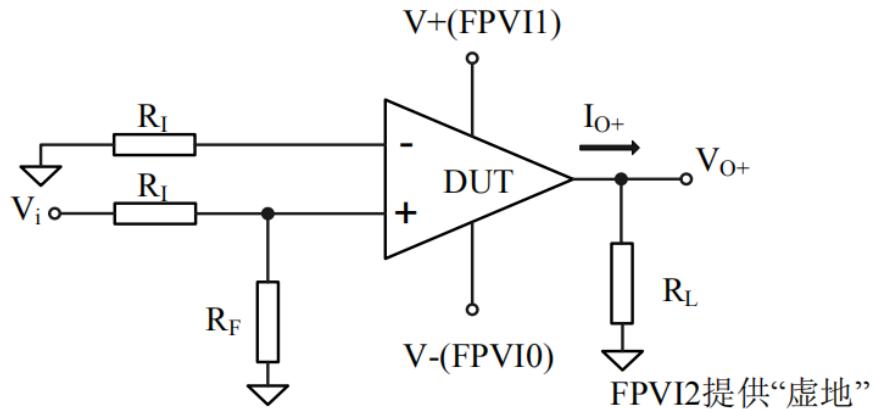


图 3-7-1

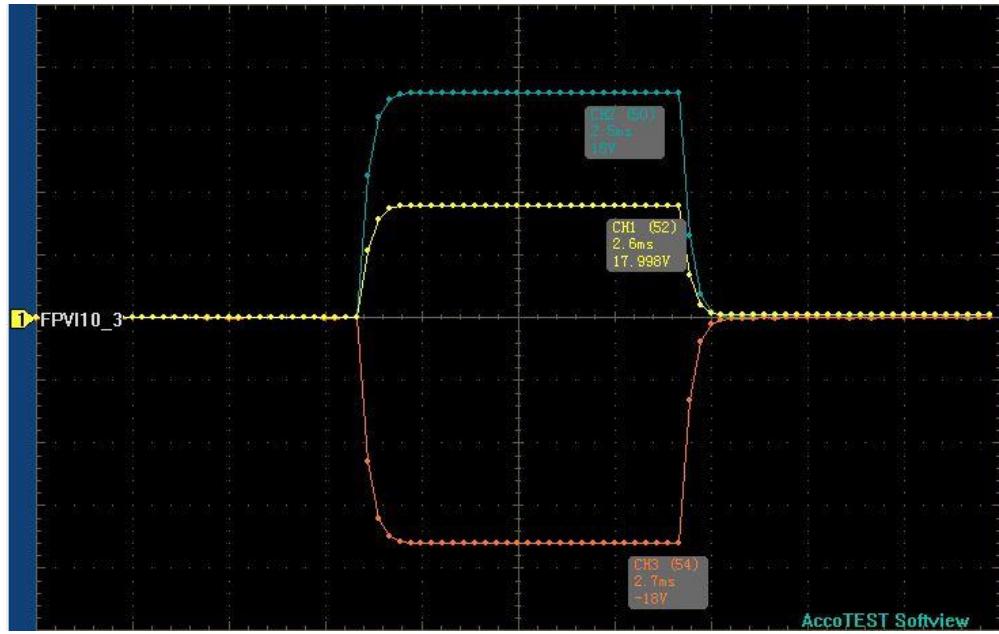
这里需要在编程界面填写的参数有一个是器件手册上无论如何也找不到的：Vin。

因为 Vin 的目的是让器件偏向一边，只要给一个稍微大一些的电压，处于开环状态的运放就会正偏，这里给 0.1V、0.2V、0.5V……都是一样的效果。（如果这里不能理解说明对于运算放大器的基本特点不熟悉，可以看一下模拟电路运算放大器部分）

所以我在 OPA192 编程时 Vin 给了 0.1V，电源电压选择±18V 编程界面如下：

条件	条件标识	条件值	条件单位	描述
vdd	V+	18	V	器件正电源电压 (FPVI1)
vdd_vrng	V+_VRng	±20V		VDD电压量程
vdd_irng	V+_IRng	±1A		VDD电流量程
vdd_clamp1	V+_Clamp1	1	A	VDD电流上限箝位
vdd_clamp2	V+_Clamp2	-1	A	VDD电流下限箝位
vss	V-	-18	V	器件负电源电压 (FPVI0)
vss_vrng	V_-VRng	±20V		VSS电压量程
vss_irng	V_-IRng	±1A		VSS电流量程
vss_clamp1	V_-Clamp1	1	A	VSS电流上限箝位
vss_clamp2	V_-Clamp2	-1	A	VSS电流下限箝位
vin	Vin	0.1	V	DUT输入电压
vosm_i	VOSM_I	0	A	输出源表电流 (FPVI3)
vosm_irng	VOSM_IRng	±10mA		VOSM电流量程
vosm_vrng	VOSM_VRng	±20V		VOSM电压量程
vosm_clamp1	VOSM_Clamp1	20	V	VOSM电压上限箝位
vosm_clamp2	VOSM_Clamp2	-5	V	VOSM电压下限箝位
dgs	dgs	输出对地		分别表示以地、正电源或负电源为基准测试电压
mode	mode	同输入，反接地		正电压输出摆幅选择同输入，负电压输出摆幅选择反输入
rload	rload	none		负载电阻
interval	interval	50	us	采样间隔

VOSM 源用于测试 Vo，所以选择了恒流为 0，使用 20V 档位测试，在 mode 选项中选择“同输入，反接地”使得运放正偏。STS8207S 自动使用 AWG 方式测试 Vo，于是在软件示波器中可以看到波形：

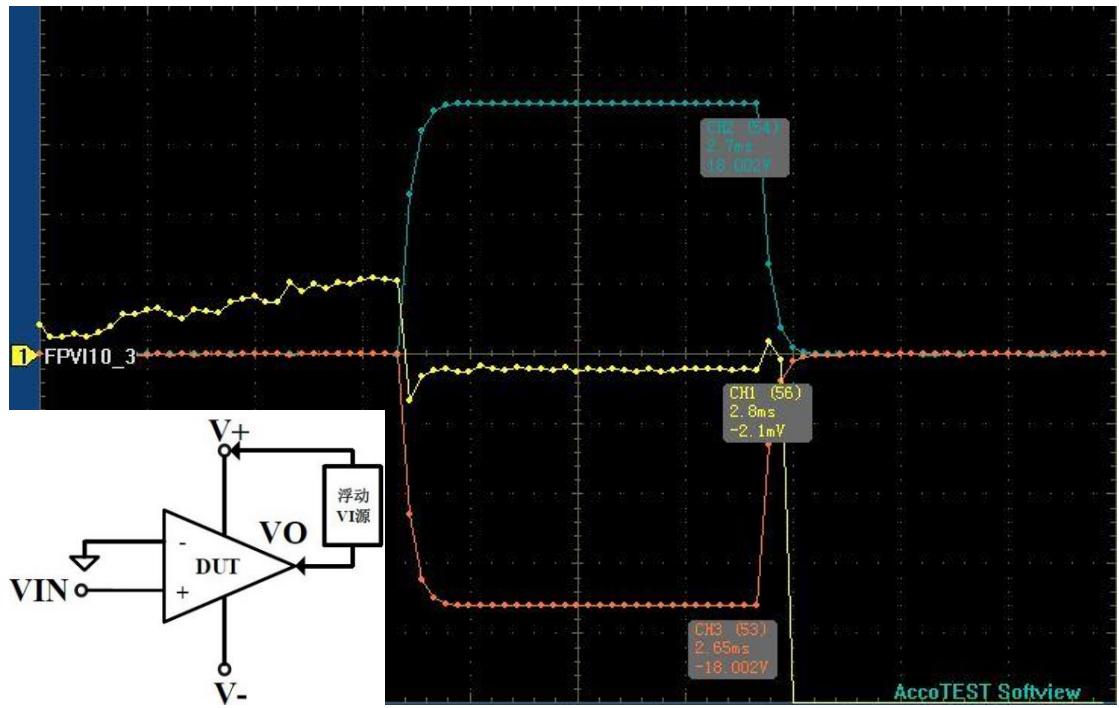


软件示波器可以看清楚整个过程，黄色的为器件输出，实测值约 17.998V，非常接近正电源电压。

STS8207S 还提供另外一种测试方式，在 DGS 选项中，选择“输出对正电源”

条件	条件标识	条件值	条件单位	描述
vdd	V+	18	V	器件正电源电压 (FPVI1)
vdd_vrng	V+_VRng	±20V		VDD电压量程
vdd_irng	V+_IRng	±1A		VDD电流量程
vdd_clamp1	V+_Clamp1	1	A	VDD电流上限箝位
vdd_clamp2	V+_Clamp2	-1	A	VDD电流下限箝位
vss	V-	-18	V	器件负电源电压 (FPVI0)
vss_vrng	V_-_VRng	±20V		VSS电压量程
vss_irng	V_-_IRng	±1A		VSS电流量程
vss_clamp1	V_-_Clamp1	1	A	VSS电流上限箝位
vss_clamp2	V_-_Clamp2	-1	A	VSS电流下限箝位
vin	Vin	0.1	V	DUT输入电压
vosm_i	VOSM_I	0	A	输出源表电流 (FPVI3)
vosm_irng	VOSM_IRng	±10mA		VOSM电流量程
vosm_vrng	VOSM_VRng	±1V		VOSM电压量程
vosm_clamp1	VOSM_Clamp1	20	V	VOSM电压上限箝位
vosm_clamp2	VOSM_Clamp2	-5	V	VOSM电压下限箝位
dgs	dgs	输出对正电源		分别表示以地、正电源或负电源为基准测试电压
mode	mode	同输入，反接地		正电压输出摆幅选择同输入，负电压输出摆幅选择反输入
rload	rload	none		负载电阻
interval	interval	50	us	采样间隔

此时 V_o 的测试改为浮动源的方式，VOSM 为浮动接法，它加在了器件正电源和输出之间，使用 1V 档位就可以测试之间的差值，软件示波器波形如下：



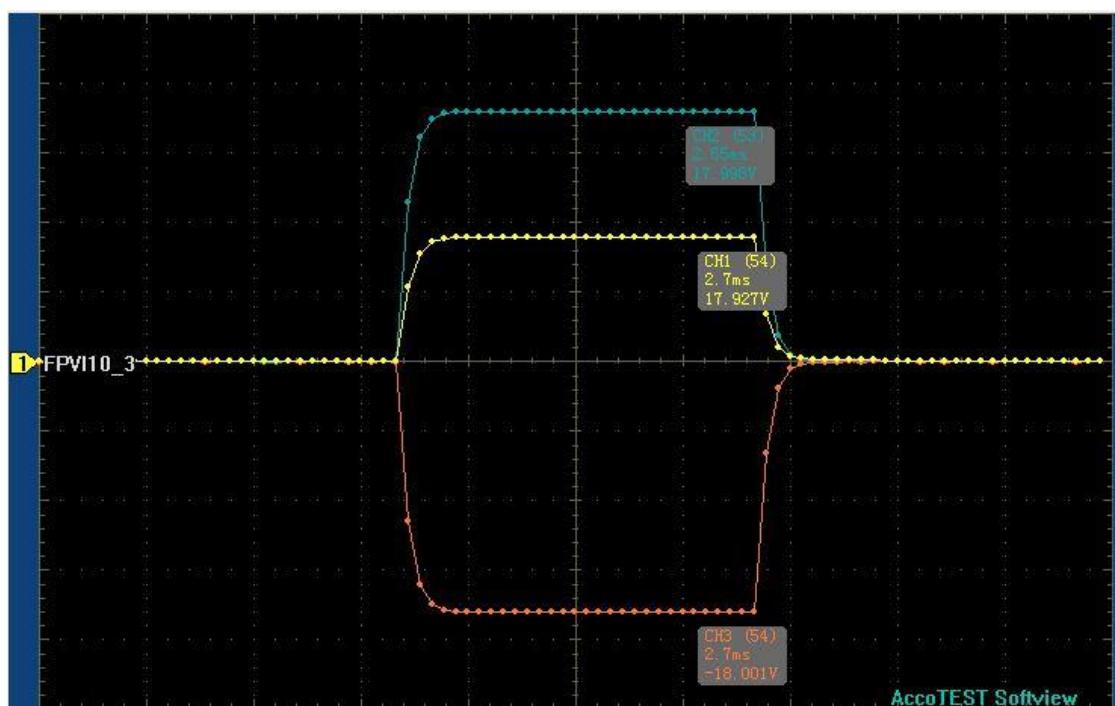
实际测试结果约为-2.1mV，这个电压是器件输出和正电源之间的差值。使用这种方法测试出的结果和 Rail-to-Rail 运放参数手册上描述的意思是完全一样的，VOSM 从 20V 档位改为 1V 档位，也提高了测试精度。两种方法结果如下：

Part_ID	SBin	Name	V _{oH}	V _{oL}
		Unit	V	mV
		Min	17.985	-5
1	1	Pass	17.998	-2.0
2	1	Pass	17.998	-2.1
3	1	Pass	17.998	-2.1
4	1	Pass	17.998	-2.0
5	1	Pass	17.998	-2.0

OPA192 的输出还有两个负载需要测试，分别是 10K 和 2K，我们在 RL 选项下面选择相应的负载：

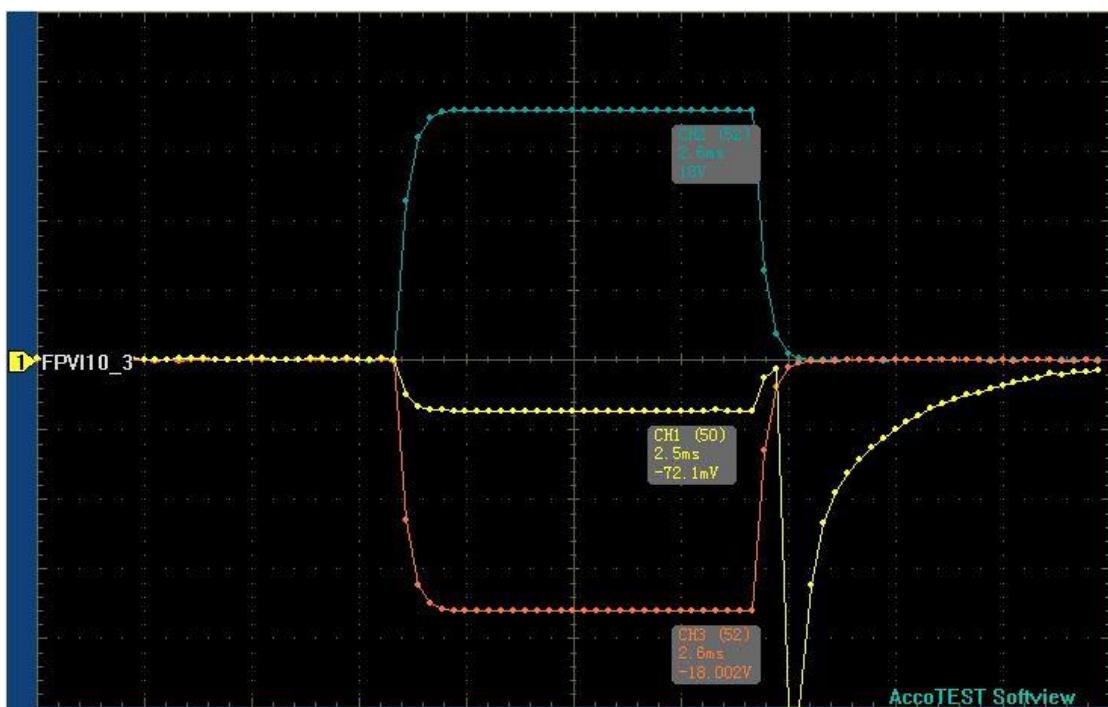
1、10K 负载下使用普通方法测试 Vo 和软件示波器波形

条件	条件标识	条件值	条件单位	描述
vdd	V+	18	V	器件正电源电压 (FPVI1)
vdd_vrng	V+_VRng	$\pm 20V$		VDD电压量程
vdd_irng	V+_IRng	$\pm 1A$		VDD电流量程
vdd_clamp1	V+_Clamp1	1	A	VDD电流上限箝位
vdd_clamp2	V+_Clamp2	-1	A	VDD电流下限箝位
vss	V-	-18	V	器件负电源电压 (FPVI0)
vss_vrng	V_-VRng	$\pm 20V$		VSS电压量程
vss_irng	V_-IRng	$\pm 1A$		VSS电流量程
vss_clamp1	V_-Clamp1	1	A	VSS电流上限箝位
vss_clamp2	V_-Clamp2	-1	A	VSS电流下限箝位
vin	Vin	0.1	V	DUT输入电压
vosm_i	VOSM_I	0	A	输出源表电流 (FPVI3)
vosm_irng	VOSM_IRng	$\pm 10mA$		VOSM电流量程
vosm_vrng	VOSM_VRng	$\pm 20V$		VOSM电压量程
vosm_clamp1	VOSM_Clamp1	20	V	VOSM电压上限箝位
vosm_clamp2	VOSM_Clamp2	-5	V	VOSM电压下限箝位
dgs	dgs	输出对地		分别表示以地、正电源或负电源为基准测试电压
mode	mode	同输入，反接地		正电压输出摆幅选择同输入，负电压输出摆幅选择反输入
rload	rload	10K		负载电阻
interval	interval	50	us	采样间隔

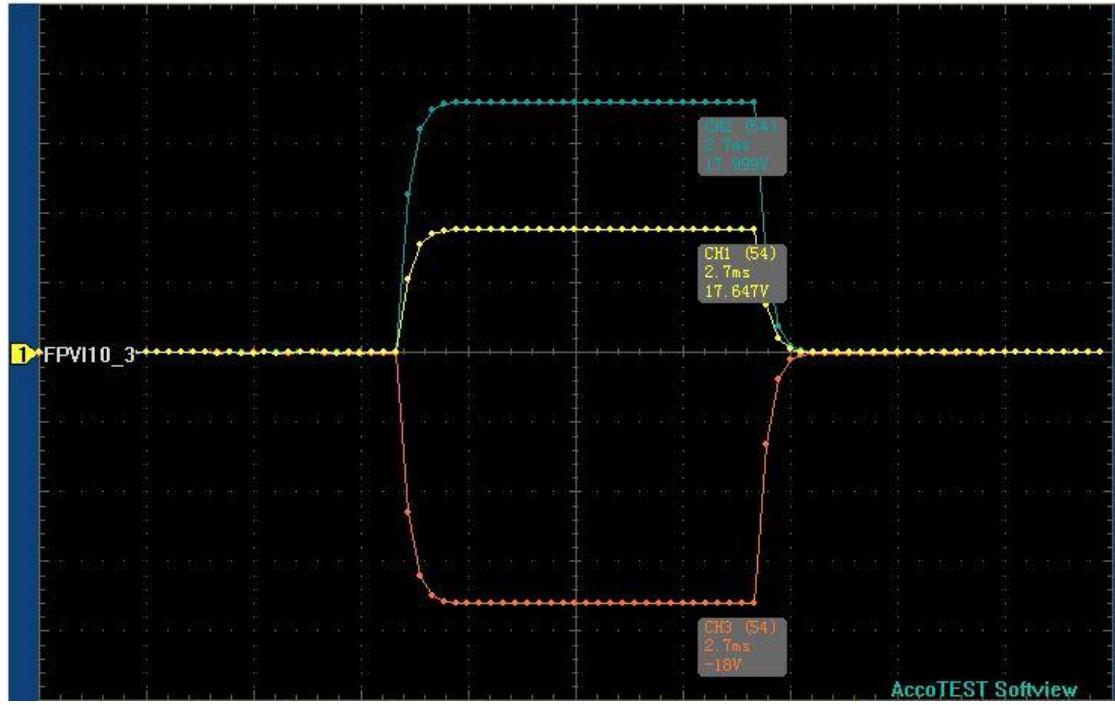


2、10K 负载下使用浮动源方法测试 Vo 和软件示波器波形

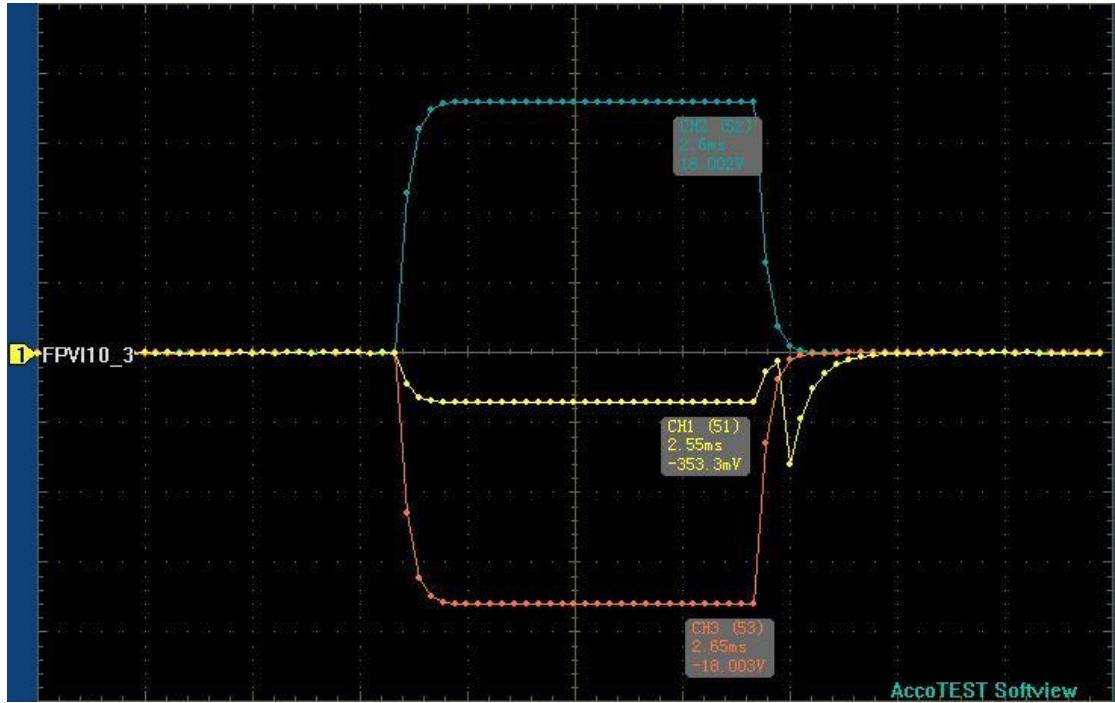
条件	条件标识	条件值	条件单位	描述
vdd	V+	18	V	器件正电源电压 (FPVI1)
vdd_vrng	V+_VRng	$\pm 20V$		VDD电压量程
vdd_irng	V+_IRng	$\pm 1A$		VDD电流量程
vdd_clamp1	V+_Clamp1	1	A	VDD电流上限箝位
vdd_clamp2	V+_Clamp2	-1	A	VDD电流下限箝位
vss	V-	-18	V	器件负电源电压 (FPVIO)
vss_vrng	V_-_VRng	$\pm 20V$		VSS电压量程
vss_irng	V_-_IRng	$\pm 1A$		VSS电流量程
vss_clamp1	V_-_Clamp1	1	A	VSS电流上限箝位
vss_clamp2	V_-_Clamp2	-1	A	VSS电流下限箝位
vin	Vin	0.1	V	DUT输入电压
vosm_i	VOSM_I	0	A	输出源表电流 (FPVI3)
vosm_irng	VOSM_IRng	$\pm 10mA$		VOSM电流量程
vosm_vrng	VOSM_VRng	$\pm 1V$		VOSM电压量程
vosm_clamp1	VOSM_Clamp1	20	V	VOSM电压上限箝位
vosm_clamp2	VOSM_Clamp2	-5	V	VOSM电压下限箝位
dgs	dgs	输出对正电源		分别表示以地、正电源或负电源为基准测试电压
mode	mode	同输入，反接地		正电压输出摆幅选择同输入，负电压输出摆幅选择反输入
rload	rload	10K		负载电阻
interval	interval	50	us	采样间隔



3、2K 负载下使用普通方法测试 Vo 的软件示波器波形



4、2K 负载下使用浮动源方法测试 Vo 的软件示波器波形



总之，STS8207S 使用开环法测试运放的 VO 很好理解，浮动源的应用和软件示波器的使用更是锦上添花，给编程人员带来极大的便捷。

这里留一个作业，找一个简单的运算放大器（如 op07），尝试使用上述不同方法测试器件的 V_{O+} 和 V_{O-} ，并且观察软件示波器的波形。

下面是一个彩蛋：

在看 OPA192 的器件手册时，发现有这样一张图表，它描述了不同 V_{cm} 电压下器件 V_{os} 的变化：

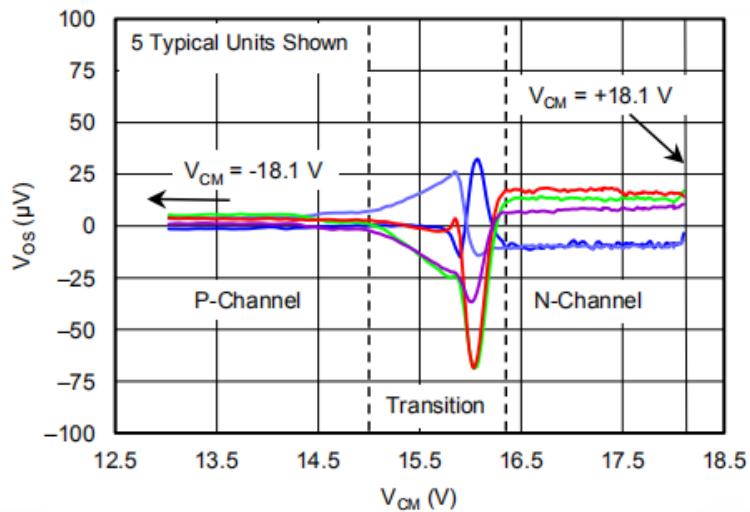
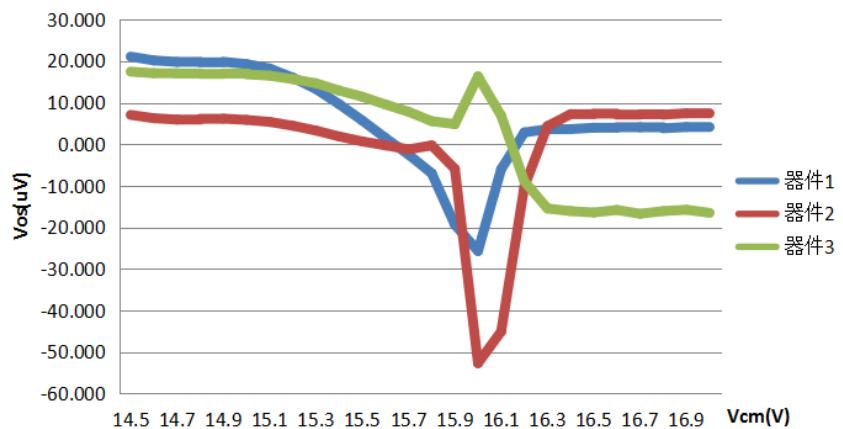


Figure 13. Offset Voltage vs Common-Mode Voltage

这个器件的 V_{os} 很小，典型值大概在 $5\mu V$ 左右，上图的意思是器件的 V_{os} 在 $14.5V$ 至 $17V$ 这个 V_{cm} 的区间内会有一个明显的变化，并且使用 5 个典型样片将这个变化用曲线描述了出来。出于兴趣，同时也想验证一下 STS8207S 失调电压测试的准确性，我们找了三只器件，在 $14.5V$ 至 $17V$ 的共模电压 V_{cm} 下测试了器件的失调电压 V_{os} ，得到了近似的曲线：



是不是挺有意思？原来 STS8207S 还能做这样的事情！彩蛋播放完毕，我们下期再见！