



差分放大器 AD813x 常见问题解答

编写人 **CAST (M)**

版本号 **2.0**

2007-8-14

本报告为 Analog Devices Inc. (ADI) 中国技术支持中心专用，ADI 可以随时修改本报告而不用通知任何使用本报告的人员。

如有任何问题请与 china.support@analog.com 联系。

目 录

1	ADI差分放大器AD813x产品简介.....	1
1.1	产品列表.....	1
1.2	差分信号的特点.....	1
1.3	AD813x差分放大器特点.....	2
1.4	参考资料.....	3
2	常见问题解答.....	3
2.1	如何计算差分放大器电路的增益，如何分析差分放大器电路？.....	3
2.2	为什么电路的输出不正确？.....	3
2.3	单端输入时的端接问题.....	9

1 ADI 差分放大器 AD813x 产品简介

1.1 产品列表

图 1 是 AD813x 差分放大器产品及其相关性能的选型表格。

	AD8138	AD8132	AD8139	AD8137
Quiescent Current	20 mA	10.7 mA	21.5 mA	2.6 mA
-3dB BW	310 MHz	360 MHz	385 MHz	75 MHz
Slew Rate	950 V/uS	1000 V/uS	540 V/uS	375 V/uS
Settling Time (2V)	16nS (.01%)	20 nS (.1%)	55 nS (.01%)	110nS (.02%)
Voltage Noise	5 nV/rtHz	8 nV/rtHz	2.25 nV/rtHz	8.25 nV/rtHz
Current Noise	2 pA/rtHz	1.8 pA/rtHz	2.1 pA/rtHz	1 pA/rtHz
Distortion Freq = 5MHz RL = 800 Ω	2nd -90 dBc 3rd -100 dBc	2nd -100 dBc 3rd -99 dBc	SFDR 87 dB	SFDR 89 dB (500 kHz)
Input CM Range	.3 to 3.2 V	.35 to 3 V	1 to 4 V	1 to 4 V
Output Current	95 mA	50 mA	80 mA	20 mA
Output Swing Single-ended	2.9 Vp-p RL = 500 Ω	3.0 Vp-p RL = 500 Ω	4.6 Vp-p RL = 10K Ω	4.0 Vp-p RL = 1K Ω

*以上所有指标是单电源 5V 供电的条件下测得的。

1.2 差分信号的特点

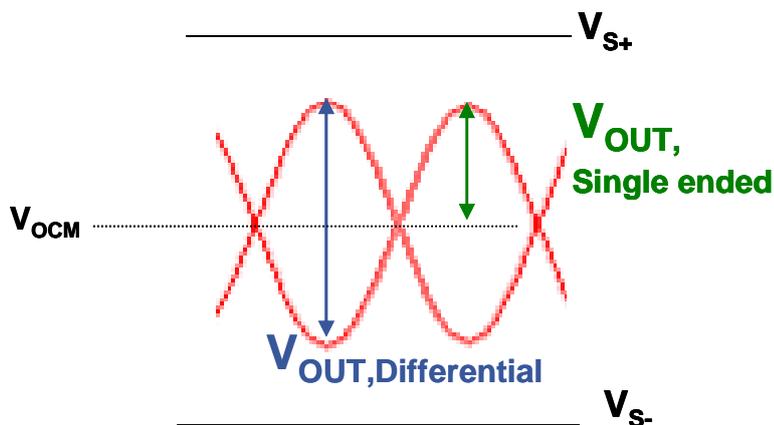


图 2 差分信号

1. 差分信号是一对幅度相同，相位相反的信号。差分信号会以一个共模信号 V_{ocm} 为

中心，如图 2 所示。差分信号包含差模信号和共模信号两个部分，差模与共模的定义分别为 $V_{diff}=(V_{out+} - V_{out-})/2$ ， $V_{ocm}=(V_{out+} + V_{out-})/2$ 。

2. 差分信号的摆幅是单端信号的两倍。如图 2 所示，绿色表示的是单端信号的摆幅，而蓝色的表示的差分信号的摆幅。这样，在同样电源电压供电的条件下，使用差分信号增大了系统的动态范围，适于单电源低电压供电系统的应用。
3. 差分信号可以抑制共模噪声，提高系统的信噪比。
4. 差分信号可以抑制偶次谐波，提高系统的总谐波失真性能。

1.3 AD813x 差分放大器特点

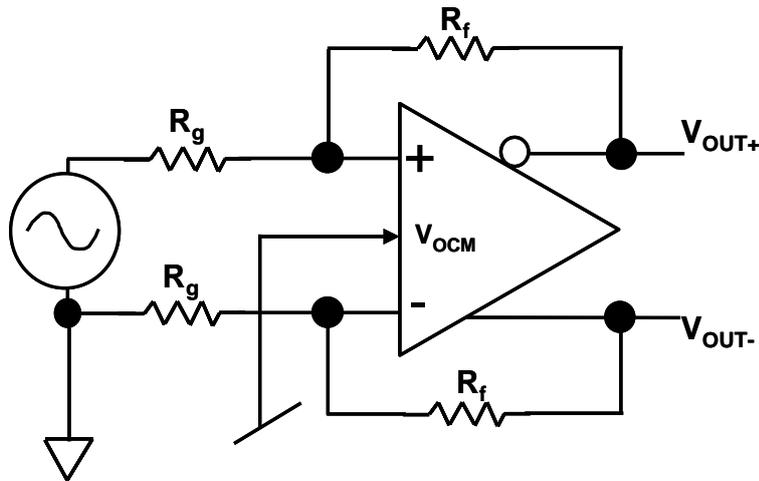


图 3 差分放大器典型电路形式

1. AD813x 差分放大器可以是差分输入，也可以是单端输入。这样可以实现单端信号到差分信号的转换和放大。
2. AD813x 差分信号的平衡度非常高。平衡度指的是这对差分信号在幅度上的一致性，以及相位差 180 度的准确度。对于作为线缆驱动器来说，平衡度至关重要，它决定了线缆传输过程中的 EMI 特性。
3. AD813x 输出差分信号的平衡度由本身特性决定，而不依赖于两个反馈网络的 Rf/Rg 的匹配度，所以即使反馈网络的电阻不匹配，也不会影响输出的平衡度。
4. AD813x 输出差分信号的共模电平可以由输入管脚 V_{ocm} 简单设置。这对于驱动单电源差分输入的 ADC 来说非常简便，可以把差分信号的电平设置在 ADC 要求的输入范围内。

5. 差分输入阻抗为 $R_{in} = 2 * R_g$ ，单端输入阻抗为 $R_{in} = \frac{R_g}{1 - \frac{R_f}{2(R_g + R_f)}}$
6. 信号增益可以小于 1 并保持电路稳定。
7. 差分放大器可以用在 ADC 的前端驱动，有源差分滤波器，长距离双绞线传输的驱动，如 KVM 应用。

1.4 参考资料

[AN-584: Using the AD813X Differential Amplifier](#) (pdf, 178,358 bytes)

The AD813x differs from conventional op amps by the external presence of an additional input and output. The additional input, V_{OGM}, controls the output common mode voltage.

[Maximize Performance When Driving Differential ADCs](#)

... Converting a single-ended signal to a differential signal before the analog-to-digital conversion can improve the performance of your data-acquisition system. By Sally Paterson, Analog Devices (EDN, 6/12/2003)

[Gain Calculators Online Tool](#)

<http://www.analog.com/en/DCDesignToolsProd/0.3146.953%5FAD8138.00.html>

[SPICE MODEL](#)

<http://www.analog.com/en/DCcList/0.3090.759%255F%255F26.00.html>

2 常见问题解答

2.1 如何计算差分放大器电路的增益，如何分析差分放大器电路？

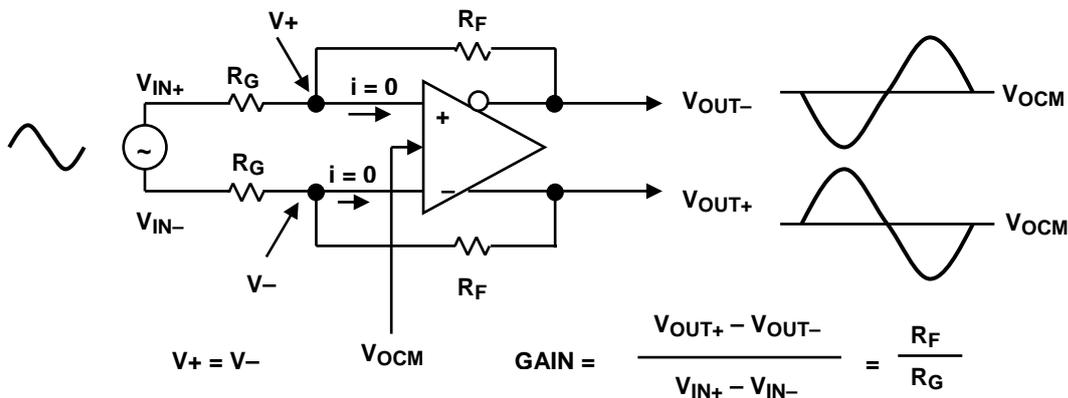


图 4 差分放大器电路分析图

如图 4 所示，差分放大电路分析的基本原则与普通运算放大器中虚断虚短原则相同，同时还具有其特有的分析原则：

1. 同向反向输入端的电流为零，即虚断原则。
2. 同向反相输入端的电压相同，即虚短原则。
3. 输出的差分信号幅度相同，相位相差 180 度，以 V_{ocm} 共模电压为中心对称。
4. 依照上述三个原则，差分信号的增益为 $\text{Gain} = R_F / R_G$ 。

2.2 为什么电路的输出不正确？

对于差分放大器的应用来讲，要得到正确的输出，必须要注意以下几点：

1. 输出信号的摆幅必须在数据手册指定的范围内。以 AD8137 为例，在单电源 5V 的情况下， V_{out-} 与 V_{out+} 都必须在 450mV~4.55V 之内（见下表表 2）。
2. 输入端信号的范围必须在数据手册指定的范围之内。以 AD8137 为例，在单电源 5V 的情况下， $+IN$ 与 $-IN$ 的电压必须在 1~4V 之内。（见下表表 2）

表 2 数据手册单电源 5V 供电的芯片指标

$V_S = 5\text{ V}$, $V_{OCM} = 2.5\text{ V}$ (@ 25°C, differential gain = 1, $R_{L,dm} = R_F = R_G = 1\text{ k}\Omega$, unless otherwise noted, T_{MIN} to $T_{MAX} = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$).

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Table 2.					
DIFFERENTIAL INPUT PERFORMANCE					
DYNAMIC PERFORMANCE					
-3 dB Small Signal Bandwidth	$V_{o,dm} = 0.1\text{ V p-p}$	63	75		MHz
-3 dB Large Signal Bandwidth	$V_{o,dm} = 2\text{ V p-p}$	76	107		MHz
Slew Rate	$V_{o,dm} = 2\text{ V step}$		375		V/ μs
Settling Time to 0.02%	$V_{o,dm} = 3.5\text{ V step}$		110		ns
Overdrive Recovery Time	$G = 2$, $V_{i,dm} = 7\text{ V p-p triangle wave}$		90		ns
NOISE/HARMONIC PERFORMANCE					
SFDR	$V_{o,dm} = 2\text{ V p-p}$, $f_c = 500\text{ kHz}$		89		dB
	$V_{o,dm} = 2\text{ V p-p}$, $f_c = 2\text{ MHz}$		73		dB
Input Voltage Noise	$f = 50\text{ kHz to }1\text{ MHz}$		8.25		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Input Current Noise	$f = 50\text{ kHz to }1\text{ MHz}$		1		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
DC PERFORMANCE					
Input Offset Voltage	$V_P = V_{IN} = V_{OCM} = 0\text{ V}$	-2.7	± 0.7	+2.7	mV
Input Offset Voltage Drift	T_{MIN} to T_{MAX}		3		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	T_{MIN} to T_{MAX}		0.5	0.9	μA
Input Offset Current			0.1	0.45	μA
Open-Loop Gain			89		dB
INPUT CHARACTERISTICS					
Input Common-Mode Voltage Range		1		4	V
Input Resistance	Differential		800		k Ω
	Common-mode		400		k Ω
Input Capacitance	Common-mode		1.8		pF
CMRR	$\Delta V_{ICM} = \pm 1\text{ V}$	64	90		dB
OUTPUT CHARACTERISTICS					
Output Voltage Swing	Each single-ended output, $R_{L,dm} = 1\text{ k}\Omega$	$V_{S-} + 0.45$		$V_{S+} - 0.45$	V
Output Current			20		mA
Output Balance Error	$f = 1\text{ MHz}$		-64		dB

在你的电路中，一定要先进行分析计算，检查输出端电压和输入端共模信号的范围是否在数据手册指定范围之内（请注意电源电压的条件）。对于单电源供电的情况，更容易出现问题。下面我们以 AD8137 举例说明怎样判断电路是否能够正常工作？

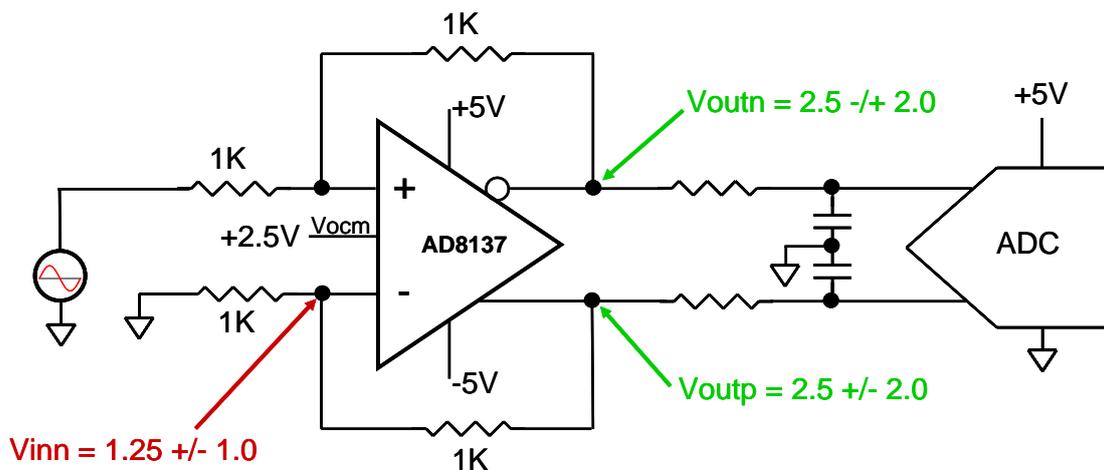


图 5，AD8137 双电源供电放大电路

如图 5，这是 AD8137 在 $\pm 5V$ 电源供电情况下的一个放大电路。输入是一个 $8V_{pp}$ 的信号。按照虚短、虚断的原则，根据 2.1 的分析，差分信号增益是 1，即，差分输出每一端的摆幅都是 $\pm 2V$ ，但相位相差 180° 。由于 V_{cm} 加入了 $2.5V$ 的共模电压，因此得到 V_{outp} 和 V_{outn} 的电压为 $2.5V \pm 2.0V$ 和 $2.5V \mp 2.0V$ ，即 $0.5V \sim 4.5V$ 的范围内。这个信号范围符合数据手册 $\pm 5V$ 电源供电情况下的指标 ($-4.55V \sim +4.55V$)。

然后我们计算输入端的共模电压，按照虚短、虚断的原则， V_{inn} 的电压是 V_{outp} 在两个 $1K\ \Omega$ 电阻上面的中点分压，即得到如图红色所示的共模电压为 $V_{inn} = 1.25V \pm 1.0V$ ，即 $0.25V \sim 2.25V$ ，这也符合 $\pm 5V$ 供电下数据手册对输入共模电压的要求 ($-4V \sim +4V$)。所以此电路满足要求，会正确工作。图 5 是各点的波形。

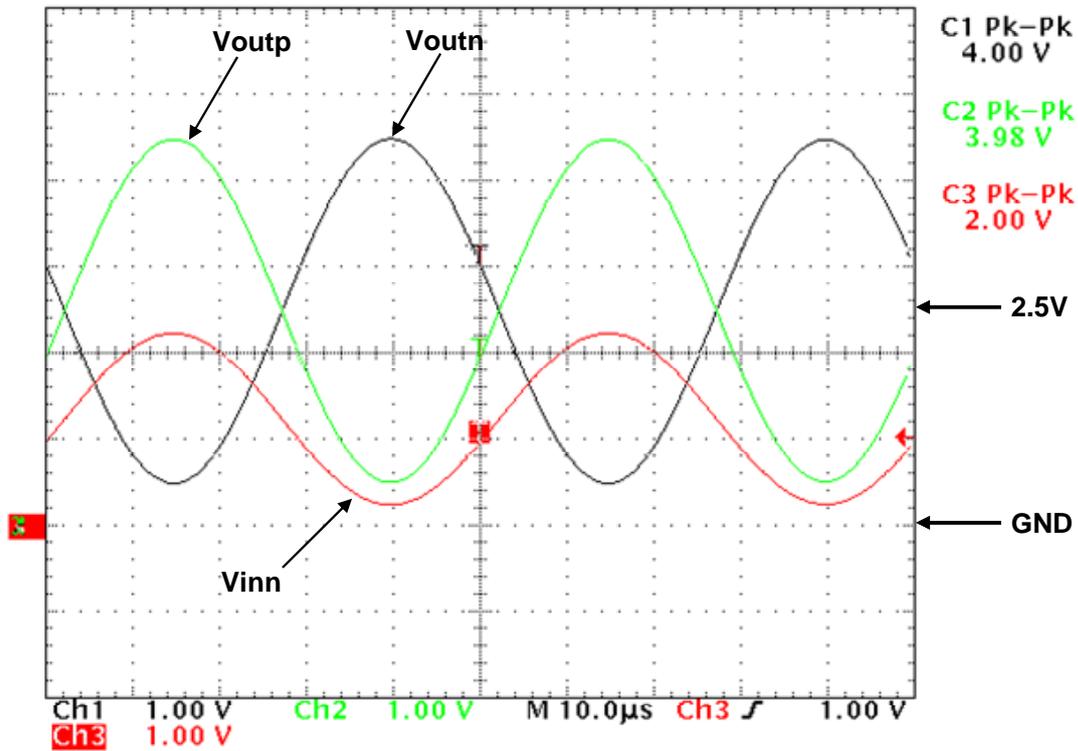


图 5 AD8137 双电源供电电路各点波形

但是，如果上面的电路改为单电源 $5V$ 供电，电路就会有问题。如图 6 所示，

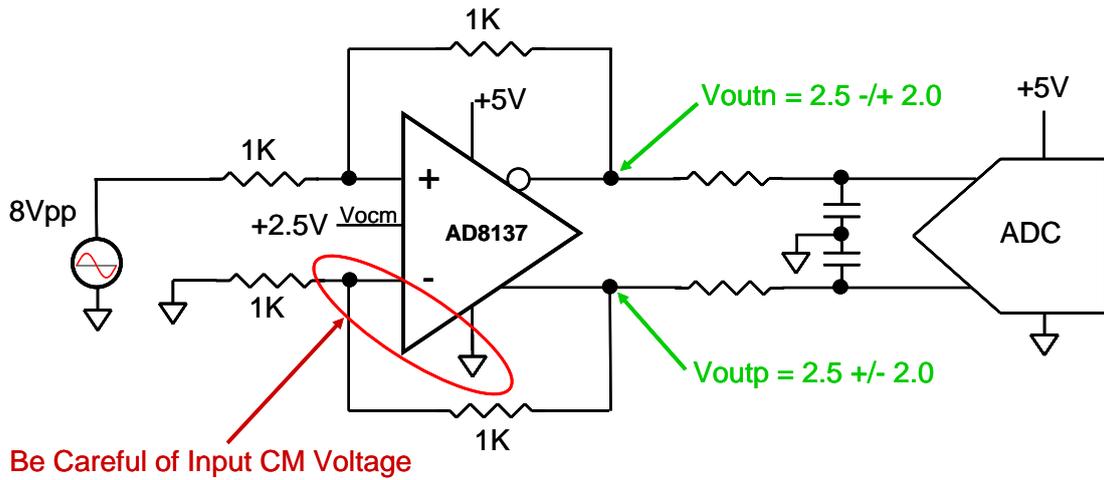


图 6 AD8137 单电源供电电路

所有的分析都同双电源供电相同，我们会发现输出电压的范围 0.5V~4.5V 符合数据手册在单电源+5V 供电情况下的指标 450mV~4.55V，但是输入端共模电压的范围 0.25V~2.25V 却超出了数据手册的要求（1~4V）。所以，在这种情况下，得到的输出如图 7，信号已经发生失真。

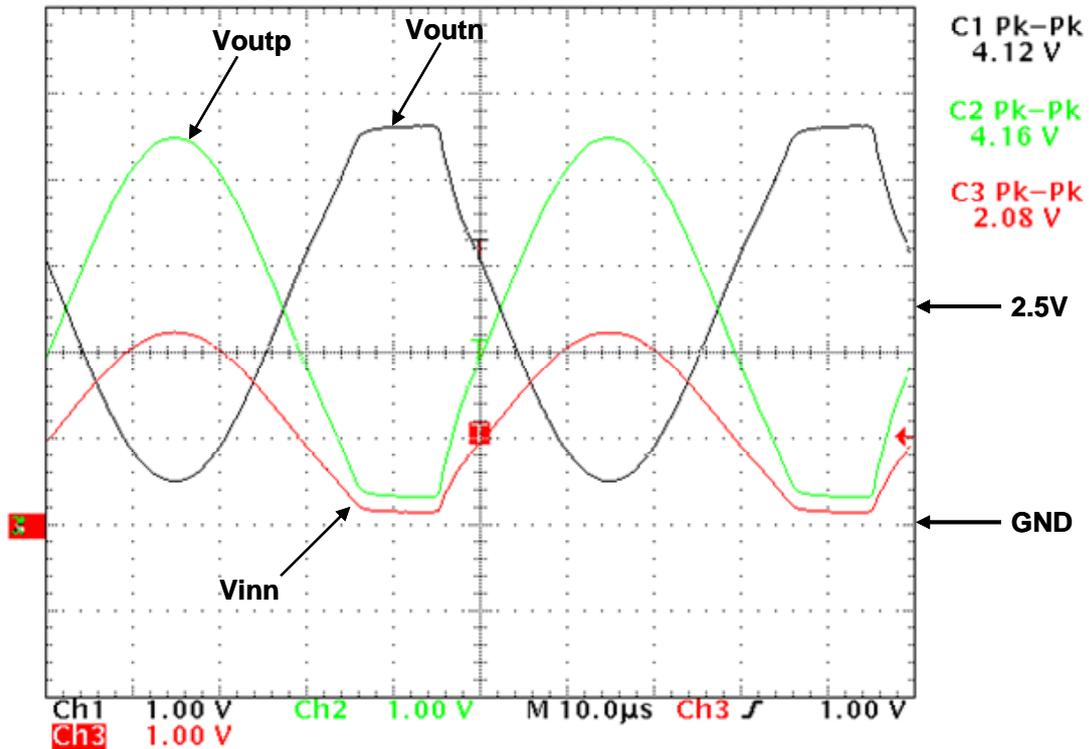


图 7 AD8137 单电源供电情况下错误的输出

在这种情况下，可以试着调节 Vocm 端的值（请注意，Vocm 端加入的电压范围也有要求，

请参见数据手册), 或者改变电路增益, 或者减小输入信号的幅值, 使输入端和输出端的范围都满足要求。

前面的情况是输入信号中不含直流共模成分, 当输入信号含有直流偏置时, 也要注意输入端和输出端的电压范围。下面是一个例子。

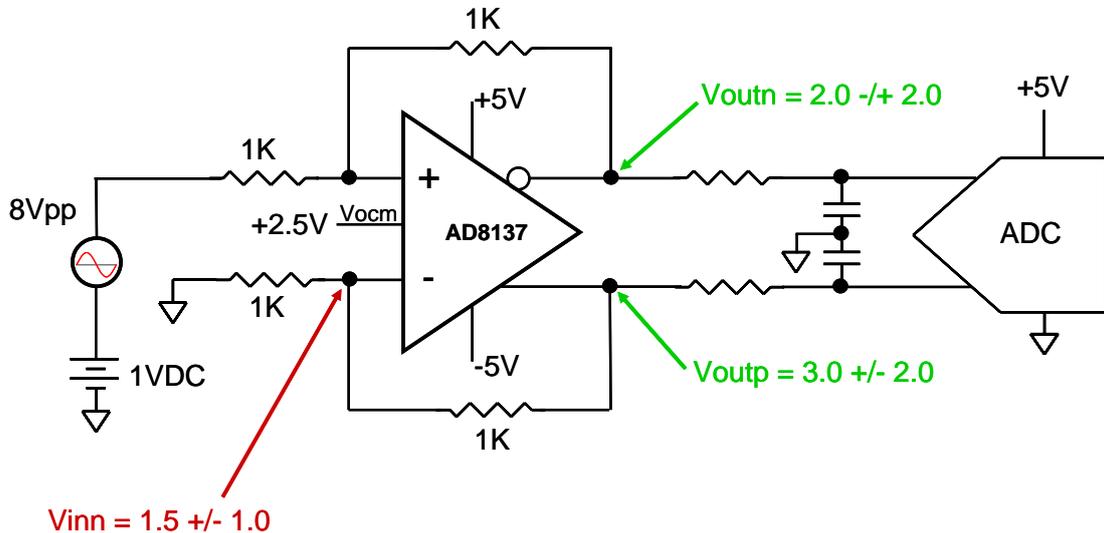


图 8 AD8137 输入信号偏置在 1V DC 的电路

如图 8 所示, 此图的区别在于输入信号有一个 1V 的直流偏置。这样我们以同样的方法分析电路, 这个 1V 的输入会在两个输出端各加入 0.5V 的直流正负偏置。得到如图所示的输入端的电压和输出端的电压值, 我们看到此时 V_{outp} 端的电压 1V~5V 已经超出了规定的一 4.55V~+4.55V 范围。所以得到的结果如图 9 所示

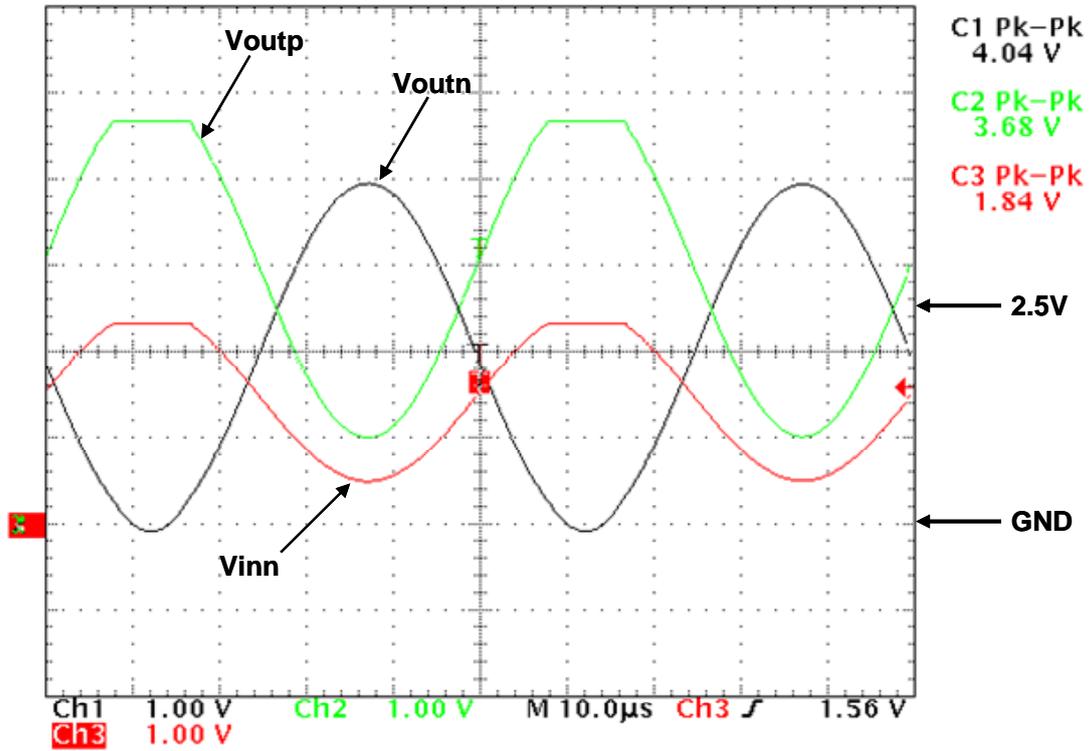


图 9 AD8137 输入加入 1V DC 偏置的错误结果
解决的方法是可以使用交流耦合，如图 10

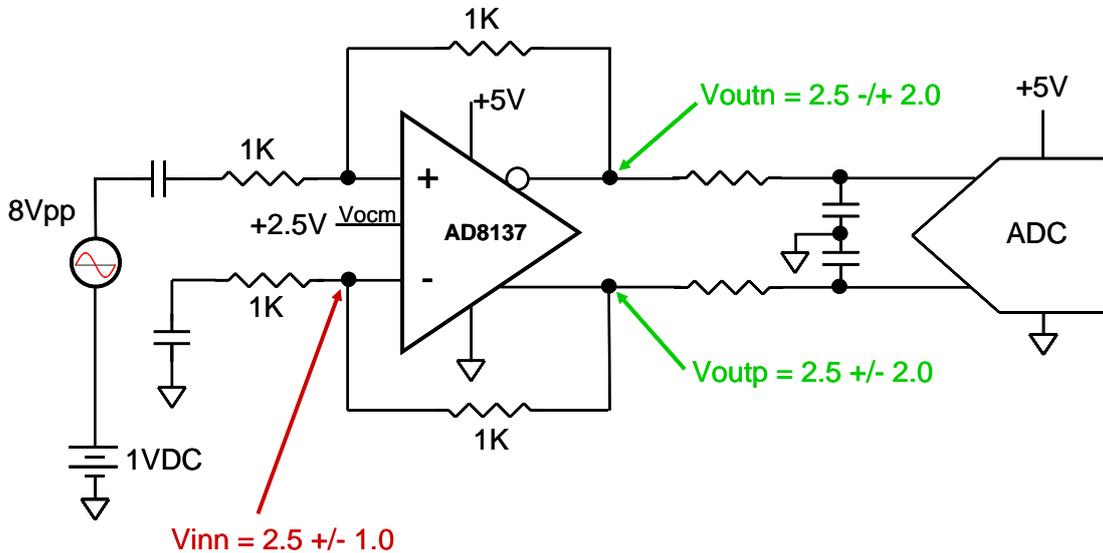


图 10 使用交流耦合的 AD8137 放大电路

这样，输入端和输出端的范围都正确了。结果如图 11 所示

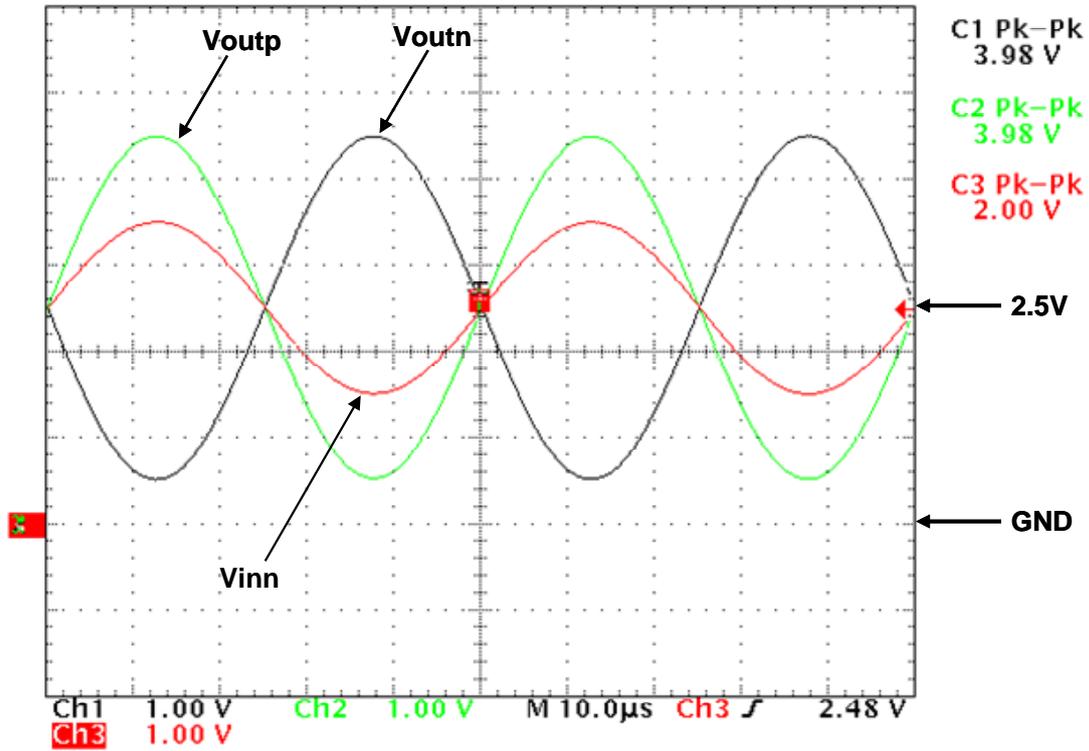


图 11 采用交流耦合后正确的结果

所以在使用 AD813x 时，一定要先计算各点的电压，然后与数据手册上相同供电电源电压条件下的指标相比较，确定电路是否工作正常。另外一个电路检查的方法是使用 ADI 网站上提供的 SPICE 模型进行仿真，这样更加直观。同时 ADI 网站上还提供了在线的 AD813X 差分放大器辅助计算工具，可以帮你检查电路的正确性。这个工具的链接是 <http://www.analog.com/en/DCDesignToolsProd/0,3146,953%5FAD8138,00.html>。

2.3 单端输入时的端接问题

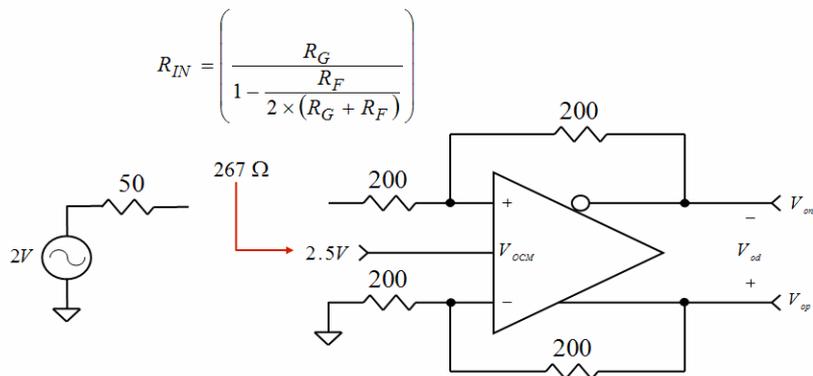


图 12

在高速应用中，有必要对差分放大器进行端接。如图 12 所示，信号源阻抗为 $50\ \Omega$ ，峰峰值为 2V ，我们希望输出为 1V 。根据单端输入时输入阻抗计算公式，差分电路的输入阻抗实际是 $267\ \Omega$ 。因此，我们要用 $267\ \Omega$ 负载匹配 $50\ \Omega$ 的信号源，计算可知，需要对地接 $61.9\ \Omega$ 的电阻，如图 13 所示。

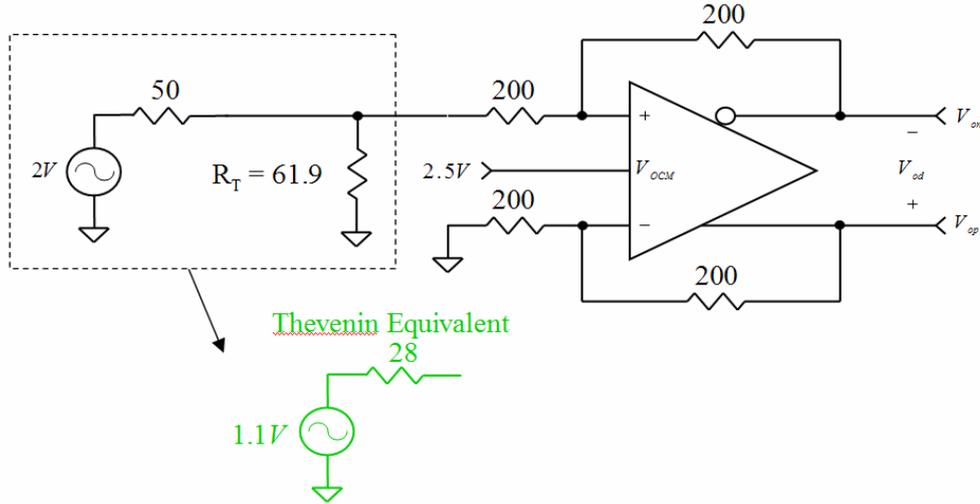


图 13

图 13 中，将虚线框中的电路做戴维南等效，如图中绿色电路。可以看出，源电压是 1.1V 而不是 1V ，同时， $28\ \Omega$ 电阻与 $200\ \Omega$ 电阻串联，这增加了 R_G ，即降低了增益。

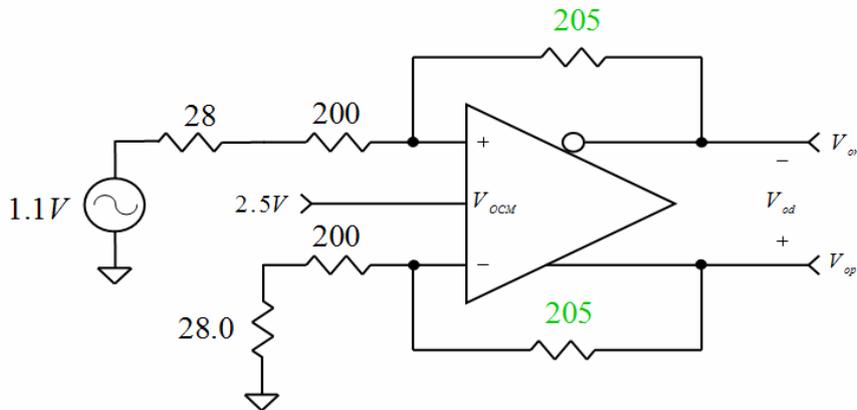


图 14

图 14 中，为使两个反馈环匹配，在反向端增加 $28\ \Omega$ 的电阻，以保持反馈比相同。同时，为了得到 1V 的电压输出，将两个反馈电阻改为 $205\ \Omega$ 。