

非常见问题第200期: 使用商业级实验室设备测量 超低偏置电流的实用技巧

Aoi Ueda, 现场应用工程师

问题:

有没有一种简单的办法来测量飞安级别的超低偏置电流?



答案:

有——只需要仔细设置。

简介

在要求低漏电流的应用中, 请务必选择低输入偏置电流(I_B)的运算放大器。应用笔记AN-1373介绍如何使用ADA4530-1评估板测量超低偏置电流。然而, 由于飞安(fA)级电流的实际处理性质, 测量环境(夹具、屏蔽、电缆、连接器等设备)也会影响测量结果。

本文将介绍如何尝试使用常见的商业级实验室设备、夹具和材料重现AN-1373中的测量过程, 并提供一些替代方案来改进测

量, 最终测试的偏置电流将达到50 fA。首先, 我们测量用于测量偏置电流的输入电容(运放内部的等效共模输入电容), 以及125°C条件下给输入电容充电时输出电压的变化。我们还尝试根据测得的输出电压推导偏置电流值。最后, 我们将尝试根据测量结果来改进测量环境。

容性集成测量

根据AN-1373, 为了使用容性集成测量方法, 必须先测量ADA4530-1的输入电容(C_p)。我们将使用ADA4530-1R-EBZ-BUF执行本次实验, ADA4530-1配置为单位增益的缓冲器模式。

接着, 我们计算输入电流(I_{B+})。具体来说, 使用图1所示的电路配置, 当测试盒中的SW从ON(接地至GND)转到OFF(开路)时, I_{B+} 流入 C_p 。当 I_{B+} 给 C_p 充电时, 输出电压升高, 因此通过监控 I_{B+} 并将其代入等式1, 可以计算其值。

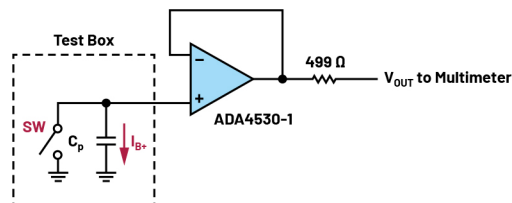


图1. 容性集成测量方法示意图。

$$I_{B+} = \frac{C_p dV_{OUT}}{dt} \quad (1)$$

通过输入串联电阻测量总输入电容

为计算 C_p ，本实验使用串联电阻法。图2显示了一个简单的电路示意图。串联电阻的值基于AN-1373第6页的测量指南，实际值是 $R_s = 8.68\text{ M}\Omega$ 。此外，在测试盒中安装了SW，以供稍后的实验使用（此时，SW开路）。

可以测量函数发生器的波形衰减到-3 dB时的频率，并且可以使用等式2计算输入电容。

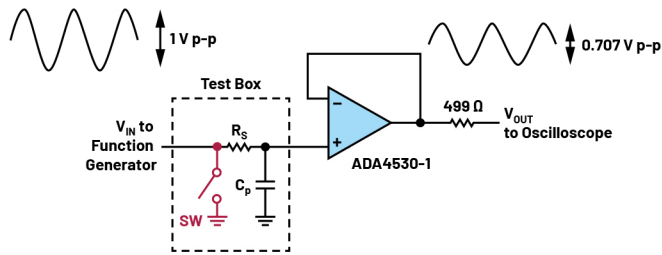
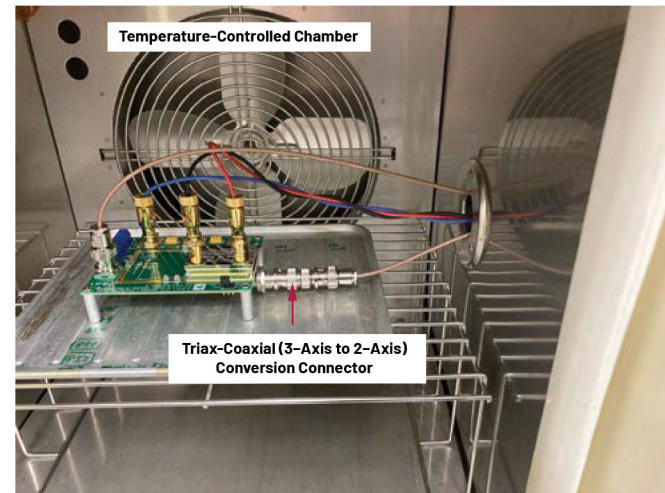


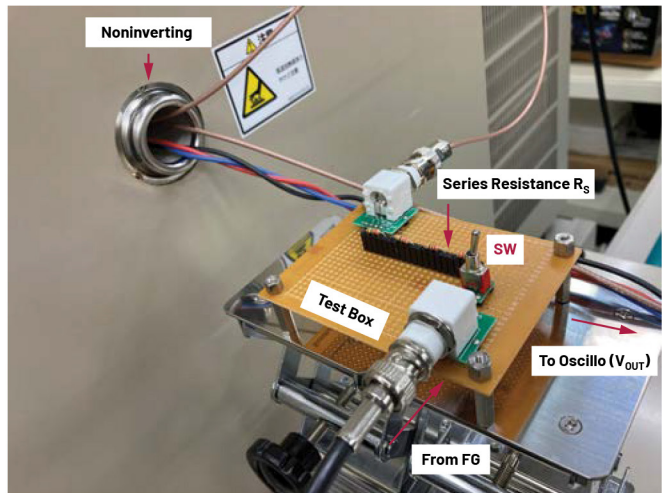
图2. 使用输入串联电阻计算 C_p 。

$$C_p = \frac{1}{2 \times \pi \times R_s \times f_{-3\text{ dB}}}$$

图3显示这一设置。在“通过已知输入电容测量 I_{B+} ”部分（AN-1373的第6页）描述的实验中，由于温温室中的温度提高至



(a)



(b)

图3. C_p 测量设置：(a)温温室内部——所示为ADA4530-1的评估板，和(b)测试盒侧的设置。

125°C，因此我们使用能够承受该温度的材料。RG-316U用作同轴电缆的材料。此外，评估板上ADA4530-1的同相输入是三轴连接器。为此，使用三轴-同轴转换连接器（Axis公司的BJ-TXP-1）。在该配置中，三轴侧的保护端口保持浮空。

获得的测量结果是 $C_p = 73.6\text{ pF}$ ，这是一个相对较大的值，因为根据AN-1373，实际测量值约为2 pF。其原因与测试盒（更像是测试板）到同相输入的电缆长度有关。

通过已知输入电容测量 I_{B+}

最后，我们开始测量偏置电流。电路配置如图1所示，安装的测试盒如图4所示。注意，移除了“通过输入串联电阻测量总输入电容”部分使用的输入电阻。如AN-1373（容性集成测量方法，第7页）中所述，将SW短接至GND，然后将其置于开路，并使用数字万用表(DMM)监控输出电压波动持续数分钟（我们使用的是Keysight Technologies的34401A DMM）。最后，通过将 V_{OUT} 代入等式1，计算 I_{B+} 。

- (2) 相同条件下的三次测量结果如图5所示。图中下半部分显示了通过DMM测量的ADA4530-1的输出电压波动，上半部分显示了使用等式1计算的电流值。该图显示，对于所有三个实例，测得的电压值都没有可重复性。因此，计算得到的电流值的波形也与AN-1373中描述的结果不同（参见AN-1373图13和14）。

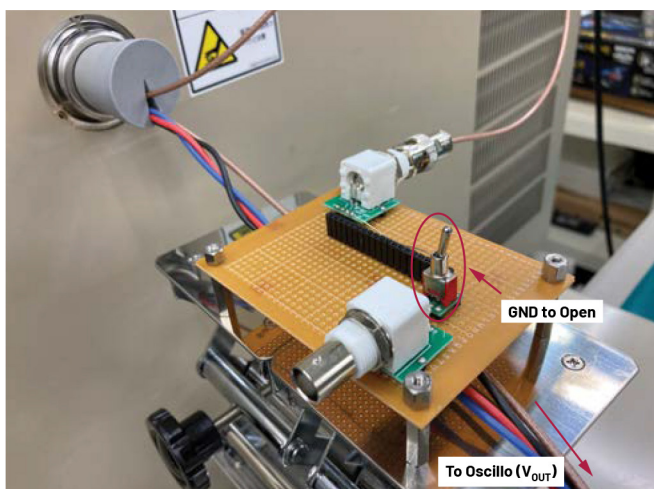


图4. 容性集成测量的设置。

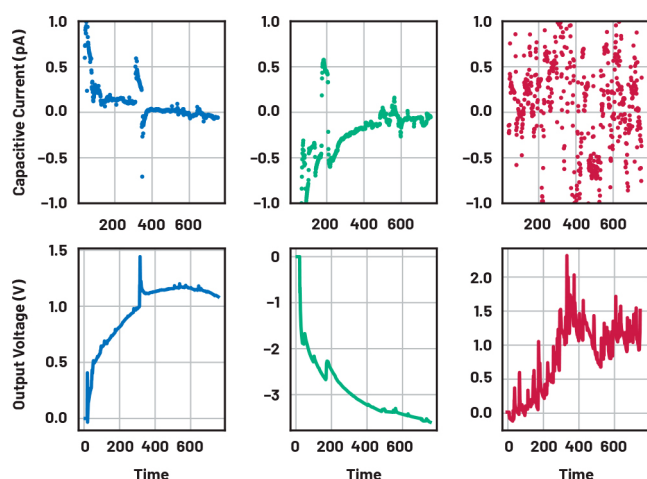


图5. 测量结果。下半部分显示了通过DMM测量的ADA4530-1的输出电压，上半部分显示了使用等式1计算的电流值。蓝线是第一次测量，绿线是第二次测量，红线是第三次测量。

如何改进测量环境

在“容性集成测量”部分，我们根据AN-1373测量了 I_{b+} ，但结果有所不同。在这一部分，我们分享如何改进测量环境，从而提高测量精度。

安装屏蔽盒并缩短输入电缆

首先，我们实施了以下两项改进：

- ▶ 在恒温室内的评估板上安装了屏蔽盒（参见图6）。
- ▶ 缩短了连接到同相输入端子的同轴电缆，以减小 C_p （参见图7）。

第一项改进旨在减少外部噪声的影响，第二项改进是降低电缆中的小漏电流（重新计算的 C_p 是35.2 pF）。然而，虽然采取了这些措施并重新进行了测量，但与“容性集成测量”中获得的结果类似，没有观察到可重复性。波形与预期波形显著不同。



图6. 安装屏蔽盒。

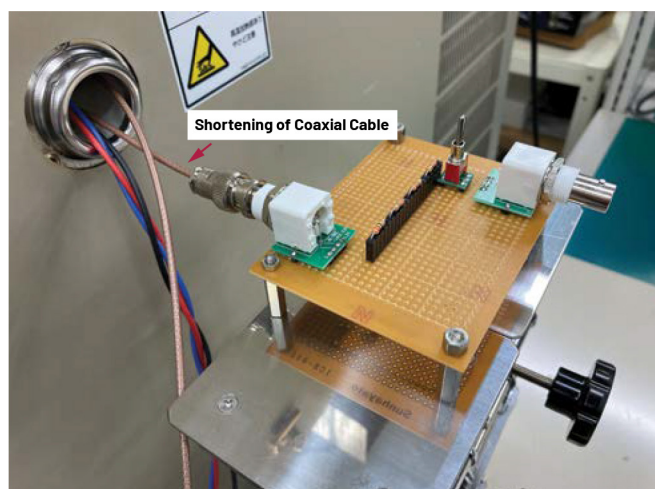


图7. 缩短同轴电缆。

移除测试盒

移除所用的测试盒，然后将SW改为直接短接至地和开路（参见图8）。也就是说，移除称为测试盒的电导组件，然后执行测量。因此，我们能够获得如图9所示的波形。

在所有测量中，由DMM测量的输出电压以恒定斜率升高，并达到约4.16 V。对应的电流值约为50 fA。

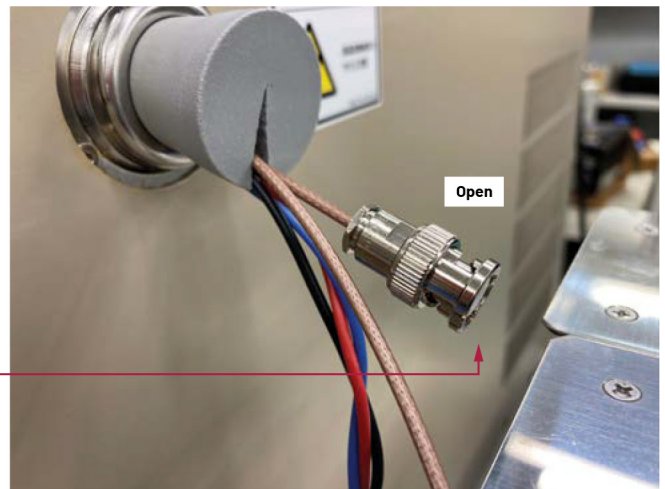
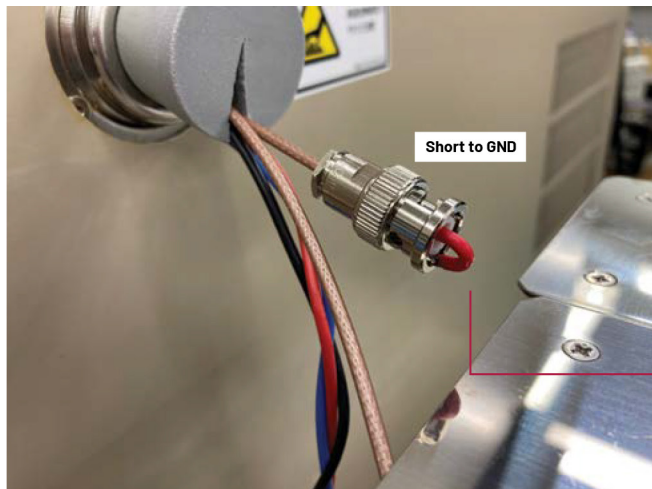


图8. 移除测试盒后进行测量。在SW内部手动执行短路和开路操作。

此外，图9中的红线显示使用更短的同轴电缆连接到同相输入端子时，重新测量的波形($C_p = 26.5 \text{ pF}$)。电压升高的斜率与理论计算值一样大。从这些测量结果可以看出，输入侧的电导组件会对测量精度产生显著的不利影响。

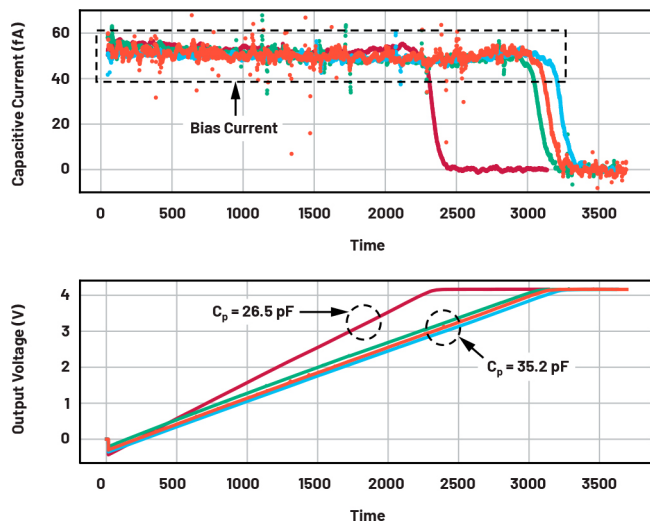


图9. 移除测试盒后的测量结果。蓝线、橙线和绿线是 $C_p = 35.2 \text{ pF}$ 时的测量结果。红线是 $C_p = 26.5 \text{ pF}$ 时的测量结果。



作者简介

Aoi Ueda于2021年加入ADI公司日本子公司(ADKK)，担任仪器仪表部门的现场应用工程师。他于2021年和2019年分别获得奈良先端科学技术大学院大学的工程硕士学位和奈良工业高等专门学校的学士学位。他是一名日本偶像御宅族。联系方式：aoi.ueda@analog.com。

结论

虽然fA级测量可在一般实验室环境中执行，但需要仔细考虑运算放大器输入侧的漏电路径。

为了提高测量精度，建议在输入侧使用特氟龙端子模块或评估板配合使用三轴电缆。

致谢

作者在此衷心感谢Scott Hunt、Iku Nagai和Jun Kakinuma提供的技术建议。

参考资料

Wong, Vicky. “应用笔记AN-1373: ADA4530-1毫微微安级输入偏置电流测量。” ADI公司，2015年10月。

