

实用测试案例

功率计技术专题

AN01010101 V0.00 Date: 2017/06/07

修订历史

版本	日期	原因
V0.00	2017/06/07	创建文档

目 录

1. 保证仪器接地良好的重要性.....	1
2. 家电待机功耗测试.....	4
3. 功率计配合传感器的正确使用方法.....	6
4. 电容功耗测试经典案例.....	8

1. 保证仪器接地良好的重要性

“接地”这个名词相信大家都很熟悉，但是在日常测试和使用中并没有得到很多人的重视，就连有经验的技术工程师都会在这里犯错误，让我们来一起来“深究”下。

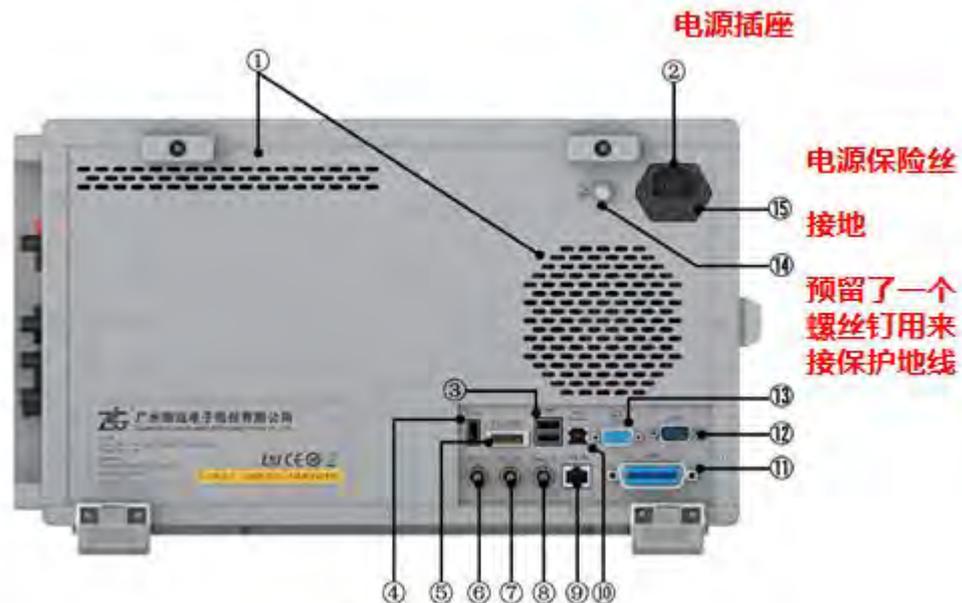
在大部分的测量测试系统中，接地的性质基本上可以分成四类：

- 电气接地：原本是电路与大地之间的导电连接。但是，在电子设备制造业中，这个词的意义已经放宽成用作零电压参考的一个点或几个点；
- 电源地：提供仪器工作所需电源的电流的返回路径；
- 信号地：所有信号电流的参考点和返回路径；
- 屏蔽地：通常是仪器的金属外壳以及电缆的屏蔽。

一个好的接地系统，会给测量上减少很多不必要的麻烦，仪器设备要正常使用必须保证良好的接地，良好的接地有多种目的，有最求安全的，追求电路稳定等，主要有如下几点：

- 将机器接地，在漏电情况下可以使仪器壳体不会带电，使用更加安全；
- 建立一个零电压基准点或者一个回路路径给整合在一起的各讯号，以达正常测量目的；
- 接地良好可以有效屏蔽电场和磁场的干扰，包括外界对仪器的干扰，仪器电源对测量的干扰，仪器对外部的干扰。

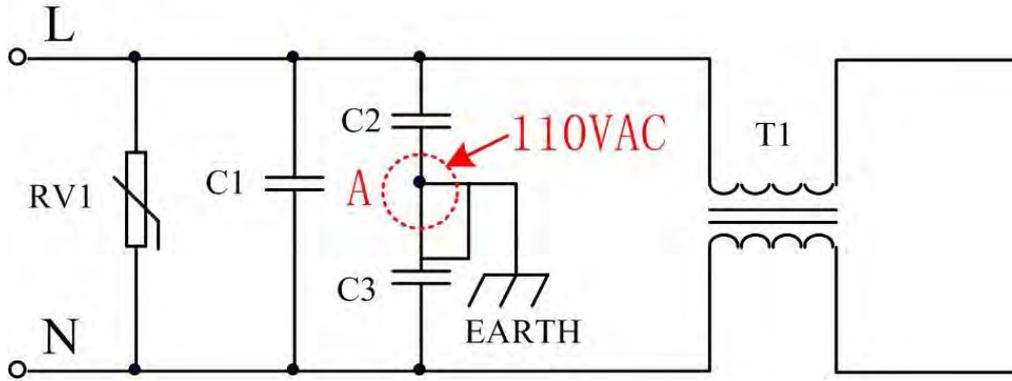
为了更好的接地，所以在仪器设备的制造中往往会预留专门的接地端子来接保护地线。



1. 接地不良会产生触电危险

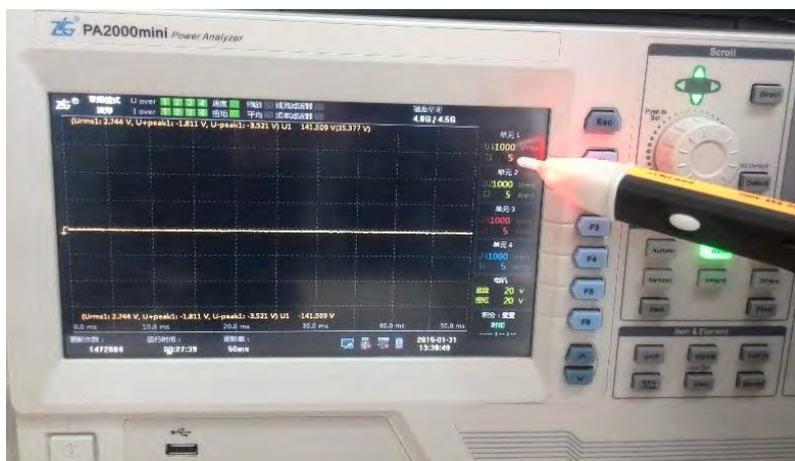
仪器类产品 AC 电源端口电路中 EARTH 与产品金属外壳相连，一旦出现接地不良时，产品金属外壳上将存在 110VAC 高压。

C2 和 C3 为安规电容，当失效后击穿不会短路，而是开路，确保了安全。



以一个实际举例来说明下不接地线危害：

故意剪掉 PA2000mini 功率分析仪的地线，这时候仪器处于接地不良的状态，机壳会带 110V 电压，会发生触电危险！推荐使用感应式试电笔进行检测。



2. 接地不良会对仪器的通信产生干扰

虽然功率分析仪设备通道间都是带有隔离的，但根据物理规律，两个绝缘导体之间会形

成电容，高频信号是可以通过的，接地不良，会导致外部的干扰窜到机器内部，如果此时干扰过大，而机器通讯正好处于重要数据传输时，将会影响机器内部通讯，轻者导致测试不准确，严重则导致机器通讯中断。

在接地不良的情况下，机壳带 110V 高压，外部串扰过大，给机器大规模的干扰模拟，总线通信中断，最终导致机器通讯失败，主机与子卡间的 PCIE 通信异常。



相信大家看到以上举例对接地的危害也有了一定的理解，虽然我们是以功率分析仪来举例的，但仪器设备都可以一致看待，如功率计、示波器、电源等。

针对接地危害，我们可以总结出如下经验：

- 电源线使用原配原包装的电源线；
- 上电前请万用表确认排插或电源插座的 PE 端连接性良好；
- 凡存在保护端子的产品必须将保护端子与大地连接；
- 接地线尽量不能超过 1m，接地线越粗越好；
- 多个系统共地时，尽量采用没有共阻抗的单点接地，避免共阻抗干扰。

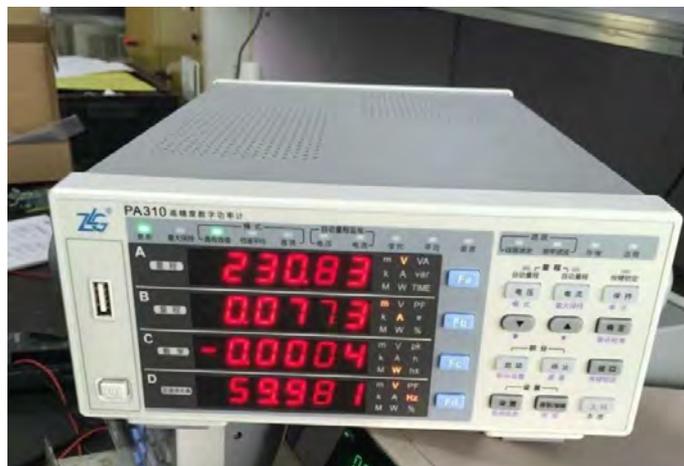
2. 家电待机功耗测试

我们家里的空调、冰箱等家电都贴有一张“中国能效标识”，标明了该家电的能耗等级。你知道这个能耗等级是怎么测试出来的吗？特别是一些小功率设备的待机功耗，其测试方法不同会严重影响结果。

首先让我们来看一个实际测试案例。某工程师用致远电子的功率计 PA310 测试开关电源的待机功耗。第一次测试时，发现待机功耗达到 30mW，比理论值大出很多。测试参数如下图所示：



该工程师非常疑惑，于是与我司技术人员沟通测试方案，在详细了解其测试过程以及仪器参数设置之后，我司技术人员给出了测试建议，修改了部分设置参数以及测试接线方式，得到了真实的待机功耗数据，测试参数如下图所示：

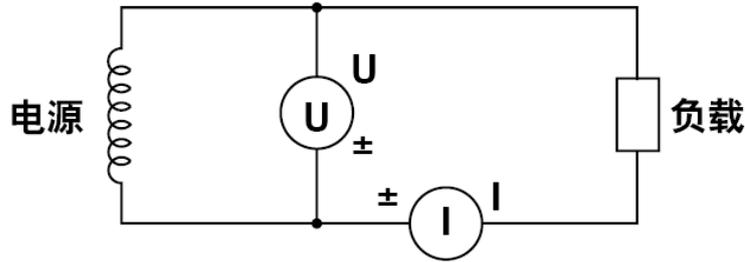


对比上面两张图，可以发现，修改参数和接线后，测试的待机功耗只有 0.4mW，与修改前的 30mW 相差将近 80 倍。为什么差距会这么大？到底改了些什么？下面我们详细分析。

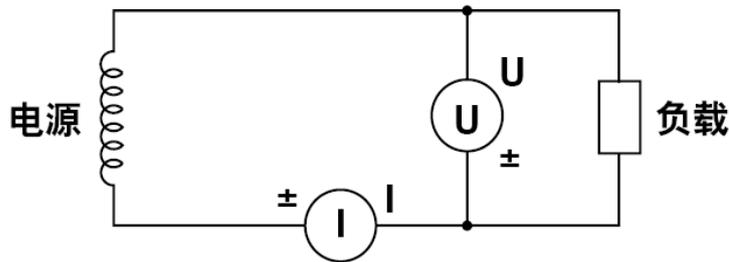
首先，可以从第一张图中看到，PA310 的“最大保持”指示灯亮着，此时打开了最大保持功能，也就是说仪器上显示的数据是最大值，而不是实时数据。其次在第二排电流显示窗口，没有看到电流值，而在第三排功率显示窗口中却有功率数据，由此可知电流量程选择太大，这样会给测量带入更大的量程误差。

除了仪器本身的设置对测试结果会造成影响外，最重要的还是接线方式。我们知道测试

待机功率时，电流值非常小，所以功率很小。从上面的图中也可以看到，电流只有 0.0773mA。在测试如此小电流的情况下，电压和电流的接线位置就尤为重要。下面我们看两个接线图：



U-I 接线



I-U 接线

当测试小电流时需要采用 U-I 接线方式，测试大电流时采用 I-U 的接线方式。

U-I 接线时，电流表 I 测试的电流是经过负载的真实电流，而电压表测试的电压是负载的电压加上电流表的电压，电流表的电压等于实际电流 I 乘以电流表内阻 R，此时的功率 $P=I*(U+IR)$ ，R 值是固定不变，假设 U 值固定，则 I 越小对 P 值影响越小，故适合测试小电流。

I-U 接线时，电压表 U 测试的是加在负载两端的真实电压，而电流表测试的电流是流过负载的电流加上流过电压表的电流，而流过电压表的电流值等于电压 U 除以电压表的内阻 R，此时的功率 $P=U*(I+U/R)$ ，R 值是固定不变的，假设 U 值固定，则 I 值越大对 P 值影响越小，故适合测试大电流。

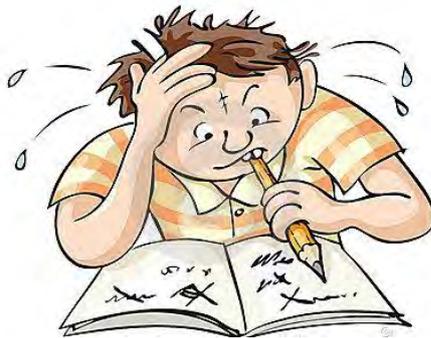
由于功率计无法通过仪器本身设置接线补充来消除电压表（电流表）本身带来的影响，因此在测试待机功耗时，必须严格按照 U-I 的接线方式进行测试才能保证测试的准确，待机功耗的测试你会了吗？

3. 功率计配合传感器的正确使用方法

随着时代进步，仪器要求测量的要求越来越高，传统的仪器搭配高精度传感器也无法满足日渐增长的需求了，小电流测试一直都是急需解决的问题，本文将介绍两种方法，用于解决大量程传感器无法测量小电流的难题，你都知道么？

目前，大多仪器使用的电流传感器都是 LEM 公司制造的，LEM 公司是一家专注于研发和生产基于磁通门技术和霍尔原理的电流传感器的公司，他们做出的传感器精度高，使用方便，应用十分广泛。

由于 LEM 传感器是电流型的传感器，这也给配套使用的仪器出了一些难题：当电流比较小时无法准确测量。



以量程为 1000A 的 IT1000-S 举例，它的变比是 1:1000，也就是经过传感器后的电流都被缩小 1000 倍。PA333H 电流端子的最小量程为 1A，最小能准确测量的电流为最小量程的 0.5%，也就是 5mA。当使用 IT1000-S 后，我们进行反推，电流放大 1000 倍，也就是此时使用传感器后，PA333H 最小能测量的电流是 5A，当电流小于 5A 后，就无法完成测量了。这大大的限制了 PA333H 的应用，下面给大家提供两种解决办法。

1. 使用外置分流器 PATV-33 进行测量

PATV-33 为高精度外置分流器，主要作用是将电流信号转换为电压信号，这样则可以转化测量，它的阻值在 3.3Ω 左右(每个实物会对应实测值)，它最大允许输入的电流是 300mA。

PA333H 的 BNC 端子最小电压量程是 100mV，最小能测量的电压是 0.5mV，在使用 PATV-33 后，PA333H 最小能测量的电流为 $0.5\text{mV}/3.3\Omega = 0.156\text{mA}$ ，通过 IT1000-S 的比例放大，PA333H 使用 IT1000-S 与 PATV-33 后最小可测得的电流为 $0.156\text{mA} * 1000 = 0.156\text{A}$ ，大大增强了 PA333H 测量小电流的能力。

PATV-33



2. 使用传感器的测试小技巧来完成测试

可以把原边导线多绕几圈，通过增加一次侧的匝数，来改变输入输出的变比，比如，霍尔传感器 IT1000-S 变比为 1:1000，原边导线多绕 5 圈(即穿过中心导体 6 根测量线)，此时，

输入输出的实际变比为 6:1000，并在功率计上更改比值，这样测量的最小精确电流值为 $1A * 0.5% * 1000 / 6 = 0.83A$ ，相比原来的 5A，上升了一个台阶，按照此道理，可以再多绕几圈，最小可以测量的电流值将进一步缩小。



上面讲解的两种方法都是可取的，有条件的话当然选用 PATV-33，所能测量的电流更小。没条件支持时，使用第二种方法也是一种很好的临场解决办法。

4. 电容功耗测试经典案例

时代的节能步伐不断前进，电容的功耗测试逐渐兴起。致远电子 PA310 功率计助力某大型电容生产企业攻克五大难题，完成电容功耗自动化测试。

致远电子华南地区的重要合作伙伴——某大型电容生产企业，接到欧美客户要求将每个薄膜电容的功耗作为产品的测试指标之一。由于该电容企业之前没遇到这种要求，所以没有合适的测试系统，而且市场上也没有成熟的测试方案。为此，该电容企业联合致远电子采用新一代 PA300 系列高精度数字功率计对现有系统进行了改造升级，过程中我们共同攻克了五大难题。

1. 自动化测试 I/O 通信问题

针对大规模的电容测试，自动化测试是测试方案的首要条件。该电容企业现有的测试系统是数字 I/O 通信，而市场上的功率测试仪器并不支持数字 I/O 通信，这成了测试方案的第一大难题。

针对此，致远电子为该电容企业做了定制化设计，更改后 PA310 全面兼容测试系统的数字 I/O 通信，具有 1 个输入 I/O 口、1 个输出 I/O 口。当被测电容通过流水线到达测量位置时，位置检测夹具发出一个脉冲给功率计的输入 I/O，触发 PA310 进行功率测量，功率计将测量值与预先设置好的功率参考值对比判断被测电容是否合格，电容合格则通过，不合格则发出一个脉冲，使执行器将电容移到不合格箱子里，实现完美的自动化测试。

2. 功率因数角 φ 将近 90°

待测电容的功率因数角 $\varphi = \arccos((0.0028/5.8) / (3.14 * 180)) = 89.97^\circ$ 。因为电容功率是根据这个偏差 φ 进行运算的，因此测试仪器需要具有 0.01° 的相位角分辨率，才能准确测量电容的功率。而且在仪器本身的模拟通道中，电压、电流产生不同的相移 $\Delta\varphi$ 也会影响功率因数角 φ 的测量。

PA310 高精度数字功率计内部采用了 100MHz 同步采样时钟，保证了相位角接近 90° 时，依然能达到 0.01° 的分辨率。并通过标准源和数学建模运算，使硬件上电压电流通道的相位差为零，同时对各个量程的相位校准，使在每个量程测试的功率值完全一致，从而消除 PA310 本身相移的影响，精准测量待测电容的功率因数角。

3. 电容电流低于 30mA

待测电容的电流，电容内部电感 L、电阻 R 等寄生参数的影响，使低于 30mA 电流会有轻微的震荡。另外，由于电流本身的值小，经过外部连接线，又会耦合外部的噪声，影响电流的测试。

微小电流测量，正是 PA310 功率计发挥作用的场合，它采用高精度模拟电路，从硬件上保证信号的调理与采集，最大限度降低原始信号的失真度；并采用全新双分流技术，使 PA310 在 50uA 到 20A 范围具有 0.1% 的测试精度。所以，PA310 能够完全准确地测量低于 30mA 的电容电流。

4. 每 0.4s 测试一个电容

测试系统的测试速度大概是 100 个/分钟，也就是 0.6s 测试一个电容。实际上，在整个过程中有 1/3 的时间是用于电容通电后的稳定，余下 2/3 的时间才能进行电流采集。而电流采集的时间还需考虑电容通电结束时的不稳定情况，真正对一个电容的测试时间根本不足 0.4s。

PA310 数字功率计采用了高效的 FPGA+DSP 设计架构，利用 FPGA 的高速逻辑控制及

DSP 的强大数据处理能力，高效精确的进行数据采集运算，快速对测试信号做出响应，保证在不足 0.4s 情况下，也能准确测量每一个电容的电流。

5. 测试现场存在大量高频干扰

电容企业生产线上有大量的机电执行机构，存在着大量的工频高次谐波。对测试设备会造成很大的干扰，存在测试的不稳定因素。

PA310 高精度数字功率计采用了工业四级的设计标准，能够屏蔽测试中的高频干扰，并经过 EMI/EMC 电磁兼容实验室的层层检测，保证在各种恶劣的测试环境中依然高精度稳定工作