

技术说明书



EIS系统性能的快速检查

前言

电化学阻抗谱（EIS）测试中最高频率是一个重要的参数。大多数EIS制造商指定的最高频率为1 MHz。然而，一些制造商的规范歪曲了真正的系统性能。许多EIS测量仪器指定在频率为1MHz测量阻抗时可以施加1MHz的信号，并测量其响应-而实际测量的时候却存在着很大的误差。

本文件用来快速评估任何EIS测量仪器。可以用它进行系统之间快速而有效的对比。购买仪器之前需要进行测试。

常规的测试主要是包括5个EIS波谱。其中3个EIS波谱用电阻在理想的EIS响应下进行记录，另外2个测试EIS体系的极限。一个极限波谱记录的是恒电位模式下近似无限阻抗。另外一个极限波谱记录的是恒电流模式下近似零阻抗。

Gamry仪器提供3个精度为 $\pm 1\%$ 的电阻和一片用来进行近似零阻抗测试的铜网。要"EIS测试电阻"只需致电或电邮我们。高质量的EIS体系有4根引线与电解池连接。其中，2条引线用来连接施加的电流，另外2条用来测试电位。测得的电压除以电流来计算阻抗。非4个引线的终端连接下测得的EIS波谱是不准确的。

假设系统没有4根终端连接引线该怎么办呢？把参比引线和辅助电极的引线连接起来。但是不要指望高质量的测试结果。

这个文件中包含详细的引线定位位置。与电阻不合理的连接会增加理想电阻阻抗的电容或电感阻抗。按照本文件中引线的定位位置，电阻波谱在1 MHz至少会减少 2° 的相位。

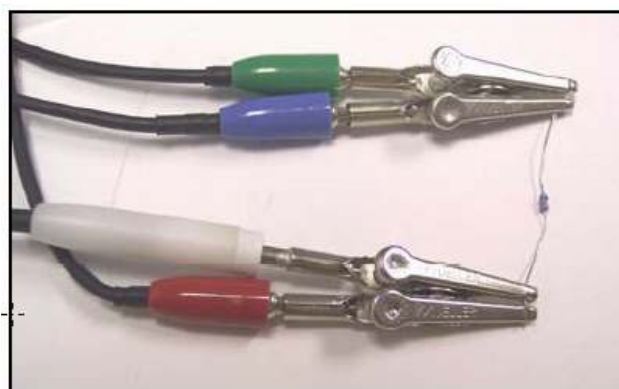
1k Ω 电阻

1k Ω 电阻标着3个棕色带和2个黑色带。



(棕色，黑色，黑色，棕色，棕色)

连接1k Ω 电阻很容易-详见下图。电阻的一端连接着工作和工作传感引线，另外一端连接着辅助和参比引线。4条引线之间保持约4cm的间距以减少引线之间的电容耦合。



Gamry电解池引线颜色代码见下表所示

颜色	引线	功能
绿色	工作电极	电流
蓝色	工作传感端	电压传感
白色	参比电极	电压传感
红色	辅助电极	电流

用20mVrms的交流电测量电阻的EIS波谱。
测试频率为0.2Hz到体系的最高频率。

100 Ω 电阻

100 Ω 电阻上所标的颜色带为3个黑色带和2个棕色带：



(棕色，黑色，黑色，黑色，棕色)

引线位置对于100 Ω 电阻的非电感波谱很重要。如下图所示，参比和工作传感引线拧在一起，放在靠近电阻的地方。辅助和工作引线也拧在一起，放在电阻的另一端。



用20mVrms的交流电测量电阻的EIS波谱。测试频率为0.2Hz到体系规定的最高频率。

10k Ω 电阻

10k Ω 电阻所标的颜色带如下：



(棕色，黑色，黑色，红色，棕色)

这是唯一一个有红色标记带的电阻。

电阻的一端连接工作和工作传感引线，另一端连接参比和辅助引线。引线之间隔开以减小电阻内的电容。我们已测鳄鱼夹之间相距10厘米时0.25pF电容足以造成1 MHz时0.9°的相位误差。

下图显示了一个非常低的电容连接。



记录20mVrms的交流电下电阻的恒电位EIS波谱。测试频率为0.2Hz到体系规定的最高频率。

开路测试

开路状态下理想电解池的阻抗是无限大的。电解池引线之间大的气隙接近于这个理想值。

连接工作和工作引线，将其放在法拉第笼内。该笼必须与恒电位仪的接地连接处连接。连接参比电极和辅助引线，将其放在Faraday笼外。

注：在其他体系中，置于笼外的辅助和参比引线可能会引起较大的噪声。如果是这样的话，把引线放在笼内，保证引线对之间距离至少为20cm。

记录开路状态的恒电位EIS波谱。推荐使用50mVrms交流扰动电压。测试频率为25mHz到体系的最高频率。

短路测试

短路状态下理想电解池的阻抗为零。电解池引线之间短接近似于这个理想值。在短路状态下，引线的位置和连接方法很重要。

注：引线夹在铜网上可以提供一个很好的低阻抗连接。鳄鱼夹之间连接在一起时的接触电阻大于500 $\mu\Omega$ 。

参比和工作传感引线拧在一起后夹在铜网的一端。辅助和工作引线拧在一起后夹在铜网的另一端。引线的位置如下图所示。



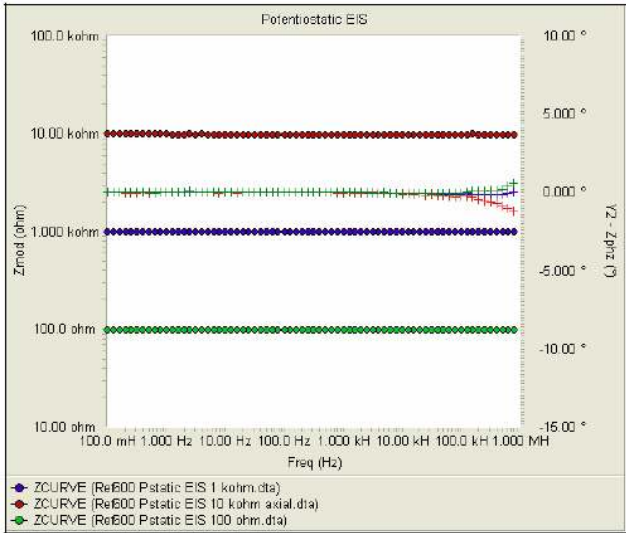
工作传感和参比引线位于连接端的中间。夹子引线不能碰到铜网连接处。

注：短路状态测试必须使用恒电流模式。恒电位模式下不能工作。如果EIS体系没有恒电流模式，则跳过此步。

记录短接状态，交流电为仪器比率电流一半时的恒电流EIS波谱。测试频率为0.1 Hz-20 kHz。

电阻结果

下图为Gamry Reference 600恒电位仪测得的3个电阻EIS波谱的Bode图。圆圈代表模值，十字叉代表相位角。



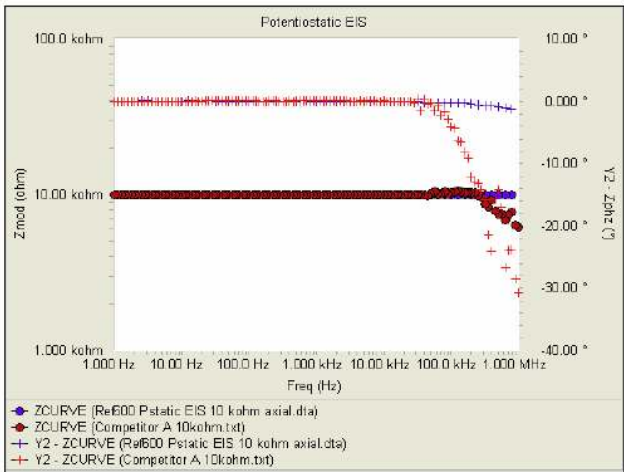
理想电阻的阻抗值与频率无关，相位角为零。

上图中，在所有频率下，阻抗值间的差异小于±1%，相位角间的差异小于±2°。

下图是不同供应商的EIS体系记录的波谱。两次测试的电解池电阻均为10 kΩ。同样的，圆圈代表模值，十字叉代表相位角。

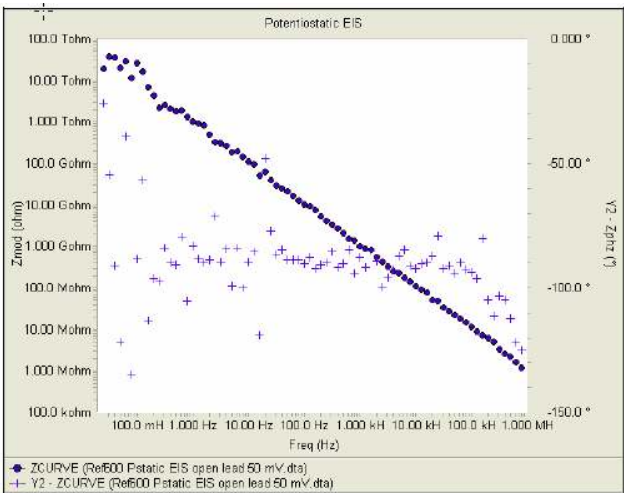
绿色波谱是用Gamry 仪器Reference 600测到的。红色波谱是用较差的EIS体现测到的。

这个较差的EIS体系自称在1 MHz下能测量。实际在1MHz下，误差超过40%-30%。这是不对的。



开路测试结果

开路阻抗代表EIS体系所能测量的最大阻抗。实际上，测得的波谱是样品阻抗和开路阻抗的并联。对比不同EIS体系的开路波谱时，高阻抗相对好点。



上面的Bode图是用Gamry Reference 600恒电位仪测得的开路波谱。在较宽的频率范围内，类似于小电容的波谱。

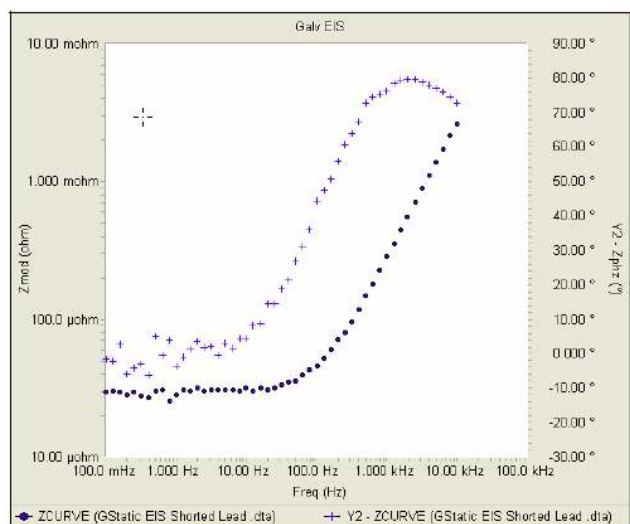
电容模式的拟合区间是0.1 Hz-100 kHz。计算出的电容为0.16 pF±0.0004 pF。

低频下体系的阻抗超过 $10^4 \Omega$ ($1 \times 10^{13} \Omega$)。许多EIS体系的低频开路阻抗低于 $100 G\Omega$ 。这严重限制了高阻抗的测试。

短路测试结果

短路阻抗代表EIS体系所能测量的最小阻抗。实际上，测得的波谱是样品阻抗和理想短路阻抗的串联。对比不同EIS体系的短路波谱时，低阻抗相对好点。

下面的Bode图是用Gamry仪器 Reference 600恒电位仪测得的短路波谱。电解池引线夹在铜网上。交流电流为300 mArms。



波谱拟合电路是RL串联，即 $30 \mu\Omega$ 的电阻和 42nH 的电感。这个电阻值是很有意思的。用来产生短路连接的铜网的电阻是 $8.4 \mu\Omega/\text{mm}$ ，而通过 3.6mm 的铜网电阻却是 $30 \mu\Omega$ 。

3.6mm 的电阻通路貌似是合理的。

注：短路状态的波谱是用Reference 600恒电位提供的标准60mm电缆测量的。对于Reference 600用Gamry专供的低Z电缆能测到较小的电感。

短路测试阐述了测试小阻抗时的实验困难。必须把4个连接电极引线端的电流通路和传感通路分开。不能忽视金属耦合时的电阻。

在其他EIS体系测得的短接状态的曲线看起来相似。电阻和电感值可能比上述波谱值中的值高。

比较两个EIS体系的短路状态波谱，保证仅仅是比较两个体系，而不是引线连接的质量问题。

结论

本测试协议可以快速检查EIS体系的功能。它能够体现EIS体系的边缘特征，即典型的较差频率响应和不满意的开路和短路波谱。

这些测试也体现了本体系能够测试很大和很小的阻抗。能够区别测试结果中的仪器响应。

Quick Check of EIS System Performance Technical Note, Rev. 1.0
12/9/2010 © Copyright 2009 Gamry Instruments, Inc.



