

## Electromagnetics, Spring 2019

### 实验二 液体宽带介电常数和电导率的测量

#### 一、 实验目的

1. 理解介电常数和电导率的含义；
2. 了解同轴探头法测量介电常数和电导率的特点和对材料的要求：

同轴探头法的特点	对材料的要求
宽带	"半无限"厚度
简单方便(不需破坏材料)	非磁性
有限的精度和低损耗分辨率	各向同性和均质
最适合液体或半固体	平坦表面以及无空隙

3. 掌握同轴探头法测量不同液体的宽带介质常数和电导率的原理和方法：如图 1 所示，同轴探头是传输线截断后的一部分，通过将探头浸入液体的平坦表面，对液体进行测量。电磁波会沿着探头传播，并进入液体中，同时有一部分电磁波能量会被反射回探头。这样就能通过测量探头上的反射信号  $S_{11}$ ，然后根据  $S_{11}$  与液体介电常数及电导率之间的关系来推导出液体在宽频带内的介电常数和电导率。

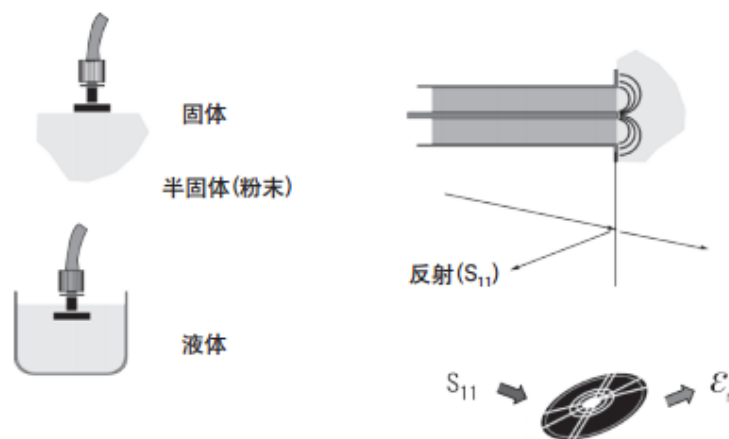


图 1.同轴探头法

4. 测量不同液体的宽带介质常数和电导率，掌握不同液体的介电常数和电导率与频率变化的关系，测量的液体包括：

- (1) 去离子水；
- (2) 盐水 10g/L；
- (3) 酒精；
- (4) 食用油；
- (5) 牛奶（可选）；
- (6) 可乐（可选）；
- (7) 可以自带均匀足量的液体做测量，但是**严禁测量有腐蚀性液体**。

5. 明白介电常数和电导率的测量误差来源。

## 二、 实验仪器

1. Keysight Fieldfox N9915A 或 N9916A 多功能手持表一台；
2. PC 机一台（已安装相关驱动和图形化软件）；
3. 网线一根；

4. 同轴电缆一根（接头类型：两头都为 3.5 mm 公头）；
5. N1501A 介质参数测量探头一个，配套校准件一套；
6. 转接头 2 个：一个用于把同轴电缆连到手持表的一个端口，  
另一个用于把探头连接到同轴线上；
7. 可弯曲钳子一把；
8. 天秤一个；
9. 铁架台一个；
10. 所需测量的液体材料，置于烧杯中，以及少量盐。

### 三、 实验步骤：

1. 开启多功能手持表，预热 20 分钟。
2. 如图 2 所示，将高精度探头安装固定在铁架台上，再用同轴转接器和同轴线缆将高精度探头与多功能手持表的 output 端口连接。



图 2. 手持表和介电探头之间的连接

3. PC 端和手持表之间的连接配置。

(1) 用一根网线将 PC 端和手持表进行连接。

在 PC 端：

- 1) 开始面板搜索【网络代理设置】，点击【状态】
- 2) 点击【更改适配器选项】
- 3) 右键【以太网】，点击【属性】，再双击【Internet 协议版本 4】；
- 4) 将自动获取 IP 地址改为【使用下面的 IP 地址】，并进行参数设置

如图 3。

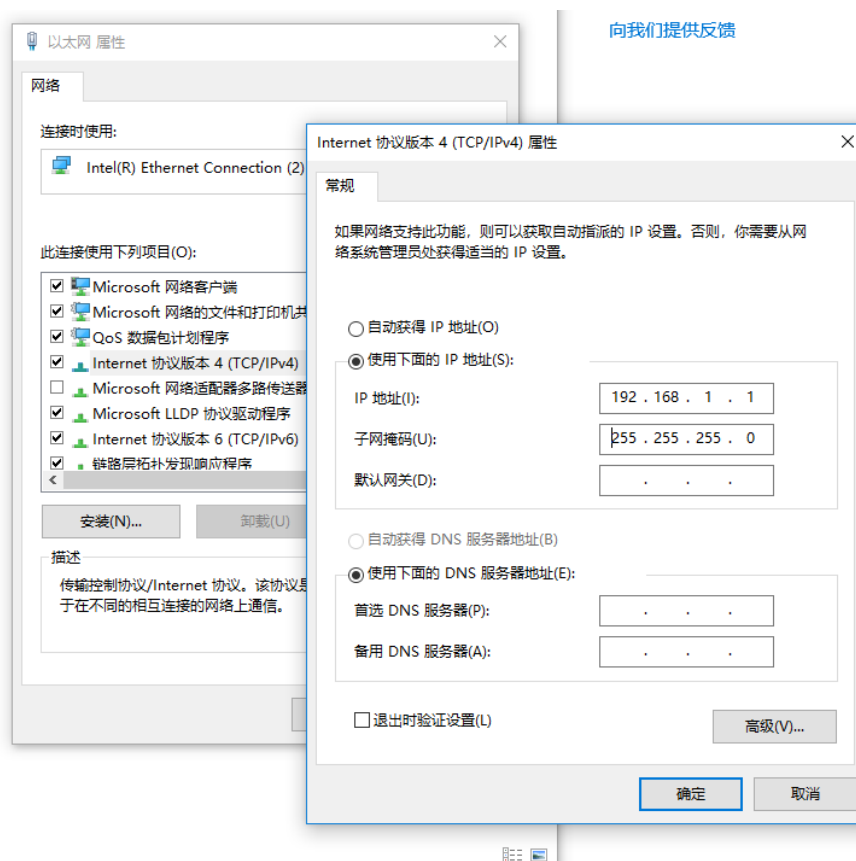


图 3 配置 IP 地址

(2) 在手持表端：

- 1) 点击软键【System】，选择【System Configuration】，选择【More】，选择【LAN】；
- 2) 如图 4 所示，将 Static Subnet Mask 设为和 PC 一个子网掩码段，并

进行参数设置。（红线框内全部修改和下图一致）转动转盘进行选择，按 Edit 进行修改，删除键 Back 在右下角，修改完一个参数按 Done 保存

- 3) 配置完之后，将【Apply settings】设置成【Now】，使上面的配置生效；

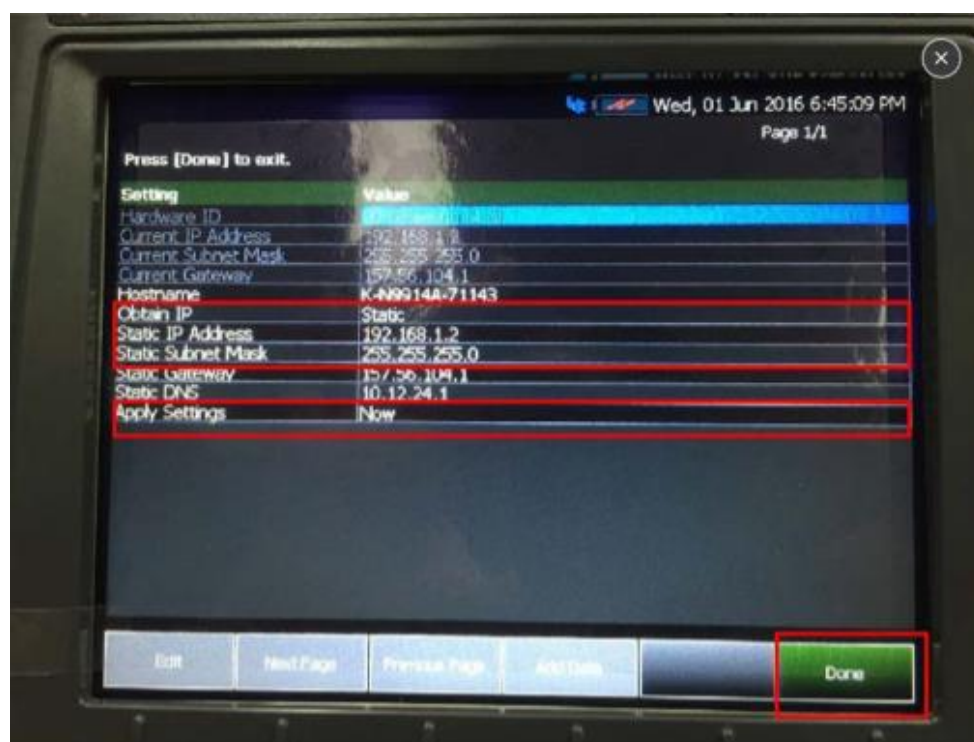


图 4. 配置手持表

- 4) 选择【Done】。

（3）再转到 PC 端：

- 1) 如图 6 所示，打开连接软件【Keysight Connection Export】，选择【Manual Configuration】及【LAN Instrument】；

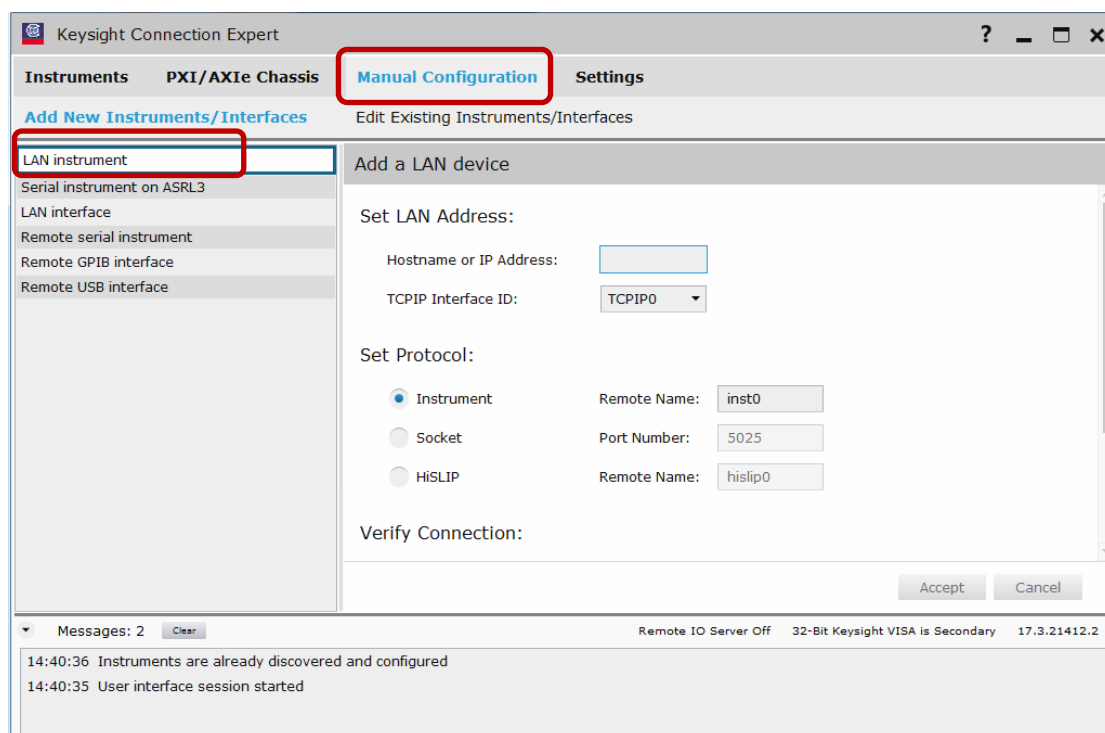


图 6. 配置手持表

- 2) 按图 7 所示，填写【Hostname or IP Address】，并点击下面的【Test This VISA Address】

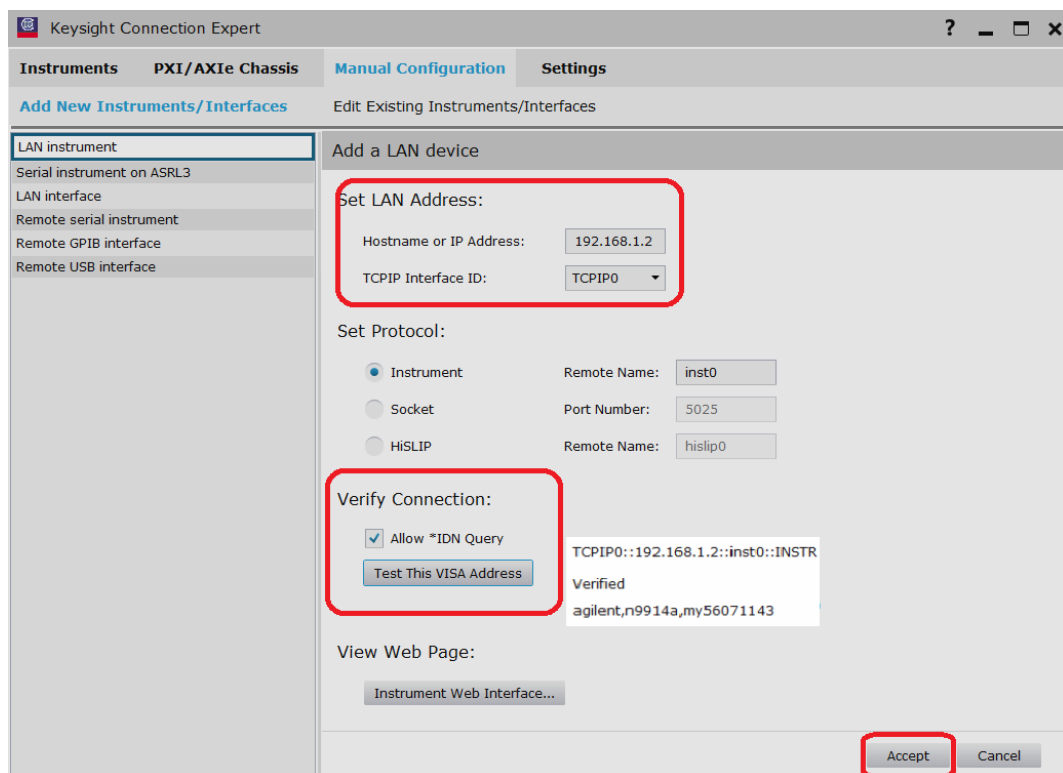


图 7. 配置 Hostname or IP Address

- 3) 点击【Accept】后，会出现图 8 所示界面。至此，PC 端和手持表之间的连接配置完成。注意连接完成以后的操作都是基于 PC 端的，无需再操控手持表。

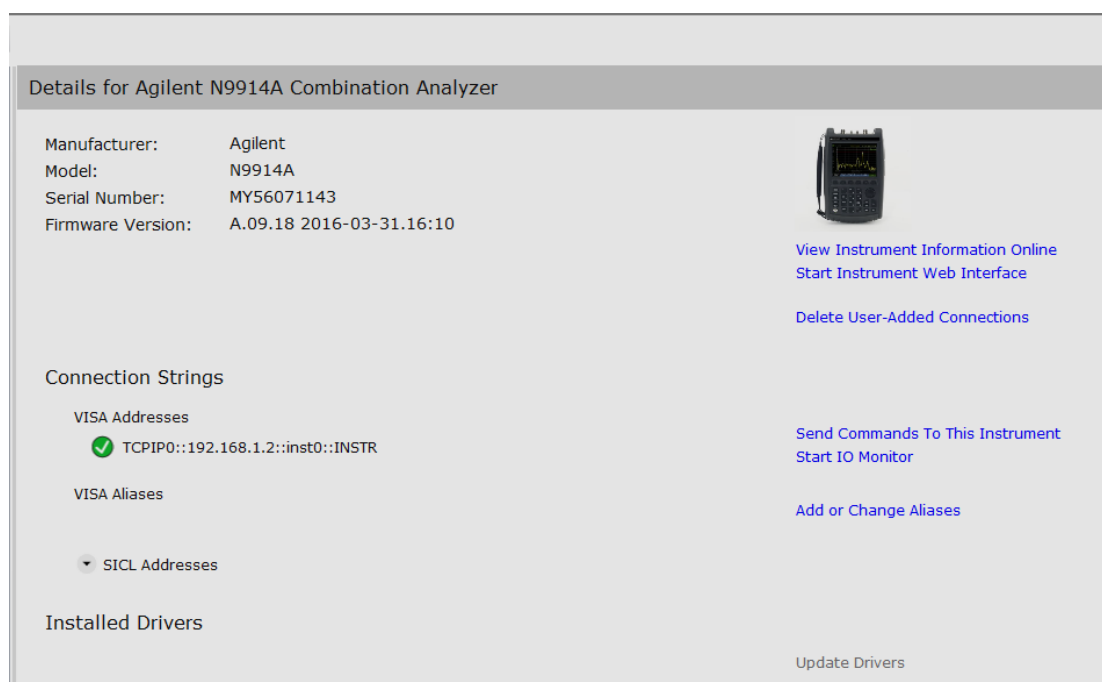


图 8. PC 端和手持表连接配置完成

#### 4. 校准

在进行测量前，必须在探头端进行校准以纠正反射测量中可能存在的方向性、跟踪和信号源失配误差。为了去除掉这三种误差项，可以做空气、短路件和去离子水这三个标准件的测试，根据预期值与实际值之差，可以消除测量中的系统（可重复）误差。

- (1) 在 PC 端打开软件【Keysight Materials Measurement Suite 2016】，选择【Coaxial Probe Method】，点击【Start】，进入主界面；
- (2) 器材及校准类型设置：如图 9 所示，选择【Calibration】下面的【Configure Calibration】，设置校准类型、探针类型及水温（设置为由水银温度计测得的实际温度）。

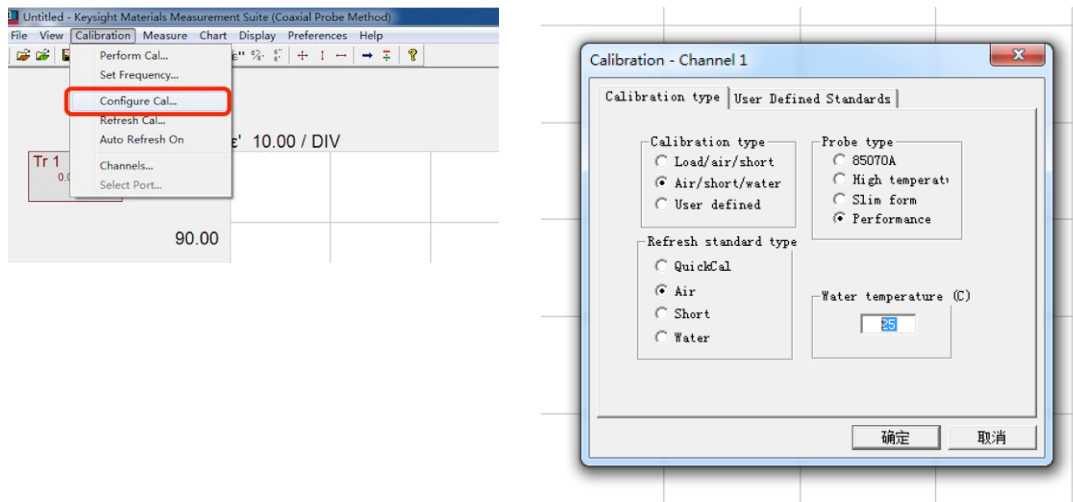


图 9.器材及校准类型设置

- (3) 校准参数设置：如图 10 所示，选择【Calibration】下面的【Set Frequency】，设置起止频率和截至频率、采样点数、功率室温和中频带宽，若中频带宽设置的越小，引入的噪声越小，则测量精度越高。平均次数越多，则测试时间越长，测量精度越高

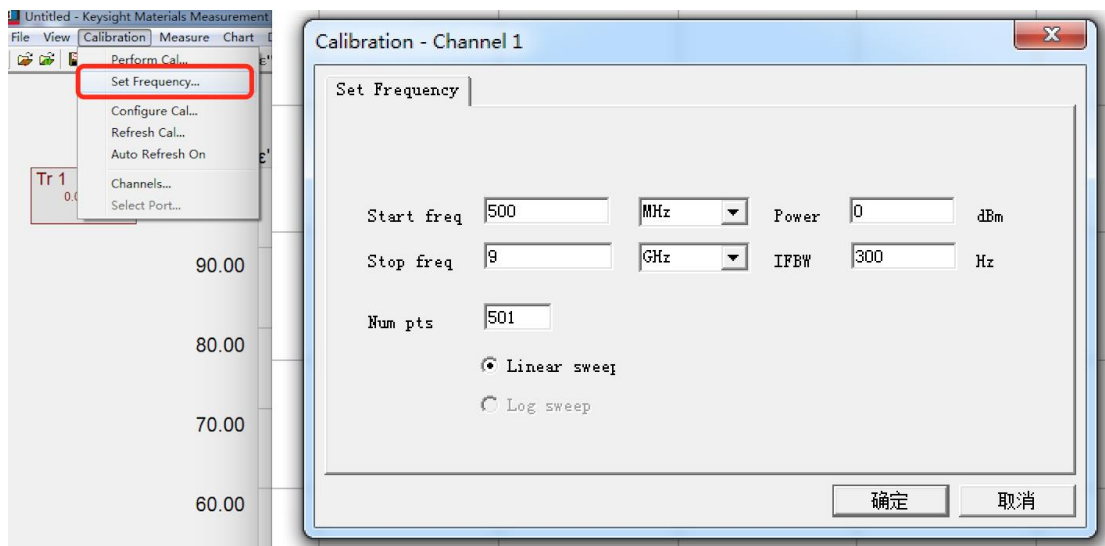


图 10.校准参数设置

- (4) 设置完毕后，如图 11 所示，选择【Calibration】下的【Perform Calibration】之后安装软件上给出的提示，分别用空气、短路器件、去离子水对仪表进行校准。



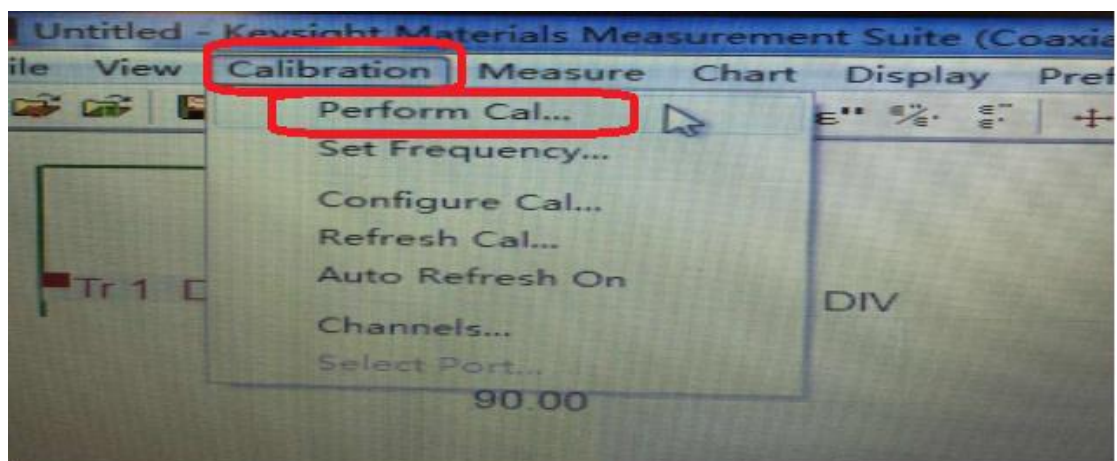


图 11.校准参数设置

- 1) **【空气】**: 将探头底部暴露于空气中，如图 12 所示，点击屏幕上的**【Ok】**按钮，等待几秒钟，待测量完成后进入下一步；

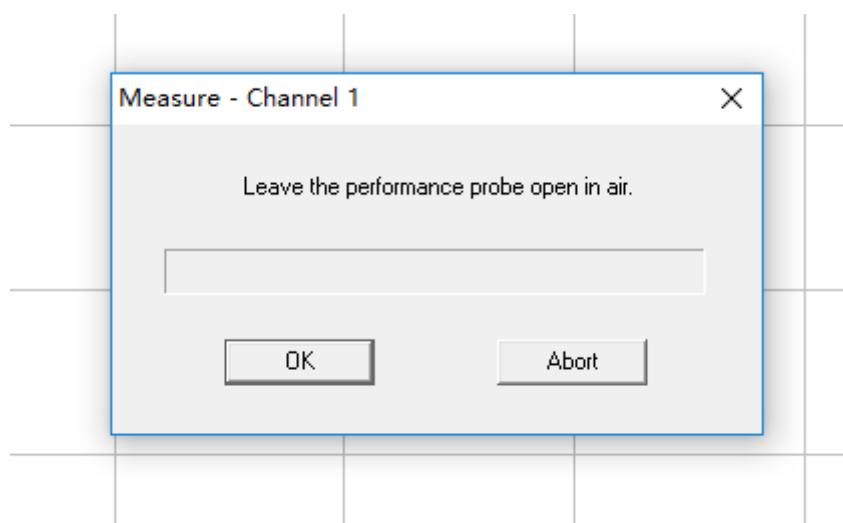


图 12.校准

- 2) **【短路器件】**: 将探头的短路校准件，如图 13 所示，连接到探头底部，并拧紧校准件，使之与探头底部良好接触。**此过程中请务必小心谨慎，防止用力过大，损害探头。让助教完成短路校准件的全部操作。任何人对探头造成损坏必须赔偿。**点击屏幕上的**【OK】**按钮，等待几秒钟，待测量完成后进入下一步；



图 13.短路校准件

3) **【去离子水】**: 将去离子水装在烧杯里，约装 80%满（400 ml）。将烧杯置于探头底部，并缓慢上移，使探头根部浸入水中约 2~3 cm，此过程中注意缓慢移动烧杯，并检查探头底部是否有气泡，如有气泡则把烧杯降低并缓慢晃动，使探头底部处于水表面并晃动烧杯，待气泡消失，再将探头浸入水中。选择屏幕上的 **【Ok】**，等待几秒钟，待测量完成。点击 **【Ok】**。注意此过程中还需注意保持水的清洁。

5. 测量：校准完毕之后，可以开始对多种液体进行测量

- (1) 校准完毕之后，可先直接测量去离子水的参数。选择**【Measure】**中的**【Trigger Measurement】**，测量去离子水的参数，待测量完成后，可以在屏幕上选择查看介电常数的实部和虚部及损耗角正切，点击“保存”，将所得结果保存为.prn 格式至 U 盘中，且在实验报告中 plot 出来；

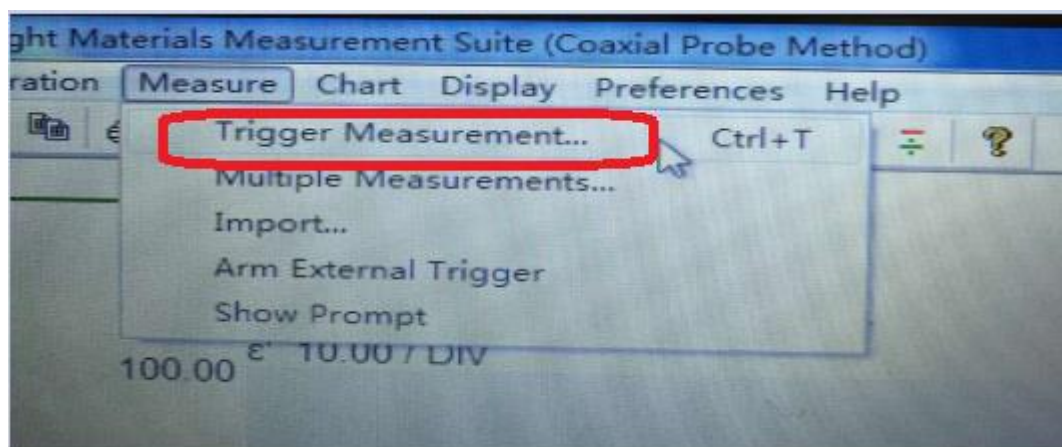


图 14. 测量介电常数

2) 移走装有去离子水的烧杯，并用擦镜纸小心擦拭干净探头底部，将下一种被测液体倒入另一个烧杯中，约装 80% 满，再将探头底部浸入液体中，确保没有气泡，选择屏幕上的【Measure】中的【Trigger Measurement】，等待几秒钟，待测量完成后保存结果。

3) 更换液体，重复以上的步骤进行测量。注意每换一种新的液体之前要先把探头的底部用擦镜纸小心擦拭干净。

#### 四、实验报告要求

1. 将保存的各种液体的测量结果画在实验报告中（不接受照相的结果），其中注意将每种液体的介电常数的实部和虚部画在同一幅图中用不同颜色或曲线类型区分。
2. 将去离子水和盐水的测量结果和理论值作比较，若差距较大请尝试解释可能原因。
3. 食用油的测量结果相比水和酒精的结果波动更大，解释可能原因。
4. 对高性能探头端进行校准后，在测试过程中是否还存在误差源？  
液体占满烧杯的 80%，探头根部浸入液体中约 2~3 cm 的目的是？