

实验八 材料的电性能测试

一、实验目的

陶瓷是良好的绝缘材料。是输配电及无线电工业中主要的材料之一。作为绝缘材料，绝缘电阻的大小是不可忽视的，有着极其重要的价值。

学会采用阻抗法测定陶瓷电容器等的介质损耗和介电常数，掌握二参数的定义，表征方法和计算技巧，初步了解评介手段。

二、实验原理

陶瓷材料的绝缘电阻一般有体积电阻与表面电阻之分。所谓体积电阻率 ρ_v 是指边长 1 厘米的立方体的电阻值，其单位为：欧姆厘米²/厘米或欧姆厘米。所谓表面电阻率 ρ_s 是假想地从材料的表面上割下边长 1 厘米的正方形。若电流从这个正方形相对的两边流过，则这个正方形面积的电阻值就是表面电阻 R_s 。表面电阻的单位为 $\frac{\text{欧姆}\cdot\text{厘米}}{\text{厘米}}$ 或欧姆。

将被测的陶瓷试样与仪器的接线端相连，使仪器产生的 100V 直流电压作用在试样上，经一分钟后，读出相应的数值即为所测电阻。

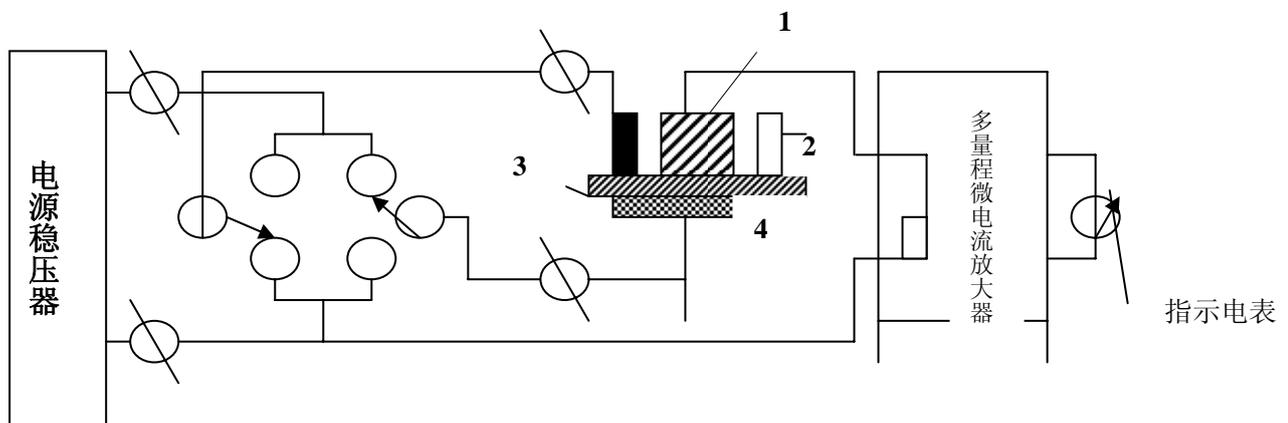


图 1 电路原理方块图 1-上电极；2-保护电极；3-试样；4-底电极

$$\text{测试仪器与试样构成的串联回路的电流为： } IR = \frac{E_H}{R_X + R_i} \approx \frac{E_H}{R_X}$$

式中： E_H — 测试电源之输出直流电压

R_X — 试样电阻值

R_i — 微电流放大器的等效输入阻抗

为了读数方便，仪器的电表不用 IR 刻度，而是按对应的欧姆值来刻度，因而可直接得

到试样的绝缘电阻值。

陶瓷等介质在电场的作用下，由于漏导、极化等各种因素造成电能转换成热能失散掉的现象，称为介电损耗。绝缘材料中，介电损耗的大小通常用介电损耗角正切，即 $\text{tg}\delta$ 来表示。

介电常数 ϵ 的意义，是由某一电介质组成的电容器在一定电压的作用下所能得到的电容量 Q ，与同样大小的电容器(但介质为真空)的电容量 Q_0 之比值即：
$$\epsilon = \frac{Q}{Q_0}$$

介质损耗对于在高压装置，高频设备，特别是用在高压高频等地方的材料，具有特别重要的意义。介质损耗过大，不仅降低整机的性能，甚至会造成绝缘材料的热击穿，装置瓷的介电常数太大，会导致产生不必要的杂散电容，影响整机的质量。而电容器陶瓷则需要有较高的介电常数。

测量元件参数的方法很多，有电桥法、谐振法、阻抗法等。阻抗法在没有解决矢量测量之前，人们一直认为精度低而弃之不用。由于智能技术的应用，较好地解决了矢量测量的问题，其精度不亚于电桥法，因而在当前智能测量仪表中深受欢迎。其基本原理是根据被测元件两端的电压矢量和流过被测元件的电流矢量，计算出阻抗矢量值。即

$$Z_x = \frac{\vec{U}_x}{\vec{I}_x}$$

式中： Z_x 为阻抗矢量，单位 Ω

\vec{U}_x 为电压矢量，单位 V

\vec{I}_x 为电流矢量，单位 A

本试验采用 LCR 自动测试仪，这是智能化多功能的参数测量仪器，可测量 L 、 C 、 R 、 $|Z|$ 、 θ 、 Q 等均可测量。

三、实验仪器设备及流程

绝缘电阻采用绝缘电阻测试仪进行试验。测试仪由电源稳压器、电极箱、多量程微电流放大器及指示仪表等部分组成。

电源稳压器供给稳定的电压为 100V。

多量程微电流放大器由微电流放大前置级及主体放大线路组成。电流灵敏度为 $10^{-4} \sim 10^{-13} A$ 。测试电阻为 $10^6 \sim 10^{15} \Omega$ 。

电极箱由三电极系统与屏蔽盒等组成，三个电极由黄铜制成。

介电性能所采用的 LCR 测试仪，有 7 个常用键。

(1)测量端口：

“ I_H ” 电流高端

“ P_H ”电位高端

“ I_L ” 电流低端

“ P_L ” 电位低端

(2)发光二极管

位于恒压按钮右侧，灯亮时表示“恒压状态”。

(3)▲ ▲ 键

光标位移键

(4)【+】 『-』 键

数字增减键

(5)“恒压” 键

用于设定恒压与非恒压状态

(6)“设置” 键

完成功能设置

(7)“翻页” 键

完成翻页功能，在两页设置屏间进行选择。

(8)偏置开关

位于仪器后面板上，当其位于“OFF”时，表示测试端口上只有正弦信号，实验时选正弦信号。当其处于“INT”时，表示测试端口上加了 0~35V 的偏置电压。

四、实验操作步骤

绝缘电阻实验：

(1) 使用前准备：

① 接上电源，开启仪器开关。使指示灯（绿色）闪亮。表示正常工作。

② 将接地端子接地，仪器预热 30 分钟。

③ 用“调 ∞ ”旋钮调节指示仪器的 ∞ (零)位，此时开关“测量、调 ∞ ”应放

在调∞位置。

④ 将量程开关打在“校满度”档，按下测量按钮，用“校满度”旋钮调整仪表的满度灵敏度。

⑤ 重复③④二项，仪器即可开始工作。

(2) 绝缘材料比电阻的测量

① 本仪器附有一套测平板材料的三电极。

② 当测体积电阻时，上电极接仪器的 L 端。保护电极接仪器的 G 端，底电极接 E 端。

③ 当测量表面电阻时，上电极接仪器的 L 端，保护电极接 E 端，底电极接 G 端

④ 测量时，应将量程选择开关(倍率)置于 10^6 位置，将“调∞测量”旋钮置于“测量”位置，接着按下测量按钮，使指针摆动。然后旋动量程开关到适当的位置，如发现指针有不断上升的现象，这是由于介质的吸收现象所致。经1分钟后读出数据，其读数应为仪表指示值乘以倍率。

介电性能实验：

(1) 打开电源

(2)选择测量参数：

用▲ ▾键移动光标至第一行或第二行。按“设置”键，设置所需测量参数，其中 L 和 C 由仪器根据被测元件的特性自动选择。

(3)设置直流偏压

通常设为零。若需加直流偏压，将后面板上的偏压开关置于“INT”，用“翻页”键选择第一屏，将光标移至“DC bias”后的数显位置，用『+』、『-』键设置偏压。

(4)设置电路方式

根据需要可选择被测量的等效电路方式为串联型或为并联型。用“翻页”键选择第一屏，将光标移至“wranit”行，按“设置”选择“自动(auto)”或“手动(manu)”，在手动(manu)方式下，可进一步选择串联(serial)或并联(parallel)方式。

(5)设置测量速度

用“翻页”键选择第一屏，将光标移至“measure”行，按“设置”键选择测量参数，款速“fast”，慢速“slow”，或选“norm.”

(6)设置测试信号频率及幅度

用“翻页”键选择第一屏，将光标移至“signal”处，用【+】、【-】键设置频率和幅度值。

(7)设置量程

用“翻页”键选择第二屏，将光标移至“range”行，按“设置”键选择“自动 auto”或“手动 manu”，在“手动 manu”时，移动光标至后面数值上，用【+】、【-】键可在四个量程中任意选择。

(8)测试

设置完所有参数后，将夹具与仪器连接，带红色插头与仪器面板上的“P_H”、“I_H”连接，不带红色的插头与仪器面板上的“P_L”、“I_L”连接。这样，红色端为测量高端，对于有极性的被测元件切勿接反。接上被测元件，从仪表直接读出介质损耗角 θ 值，并测出平板电容器的电容C值。

五、使用注意事项

应注意不要使R₀上有太大的过载电压，否则会使仪器超差，甚至会将仪器损坏；输入端的同轴插座及插头的绝缘子应保持清洁，否则会在高量限产生附加误差；测量高阻值时，应将试样处理后在屏蔽盒测试，以免外界干扰。测量完毕应切断电源，去除各种接线。

六、数据处理

绝缘电阻的计算：

按下列公式计算ρ_v值：
$$\rho_v = R_v \frac{\pi r^2}{d}$$

式中：r—上电极半径(厘米)；d—试样厚度(厘米)

按下列公式计算ρ_s值：
$$\rho_s = R_s \frac{2\pi}{\ln \frac{D_2}{D_1}}$$

式中：D₂—保护电极的内径(厘米)

D₁—电极直径(厘米)

Ln—自然对数

介电常数的计算：

介质损耗： $\text{tg } \theta$

介电常数： $\varepsilon = \frac{4\pi LC}{S}$

L—被测试样的厚度(厘米)

S—被测试样的面积(厘米²)

七、分析讨论题

1. 陶瓷的绝缘电阻在什么范围？
2. 为什么陶瓷是良好的绝缘材料？
3. 介质损耗和介电常数的概念是什么？
4. 试说出介质损耗和介电常数的测定原理。
5. 实验中应注意哪些事项？