

压电器件测试的超值解决方案

一. 引言

以往具体分析压电器件通常有两种方法:

a. 阻抗分析仪 (如 Agilent4294A);

优点为自动、快速、准确; 缺点为极其昂贵, 需数十万元人民币。

b. 用数台仪器组合信号发生器、频率计、毫伏表等;

优点为: 价格便宜; 缺点为: 操作繁琐, 准确度低, 无相位信息, 测量参数单一, 测试时间长;

目前, 市场上大部分的LCR电桥 (仅数 2--6 万元左右), 与阻抗分析仪可比拟的性能, 为广大客户提供了低频压电超声器件的良好解决方案。

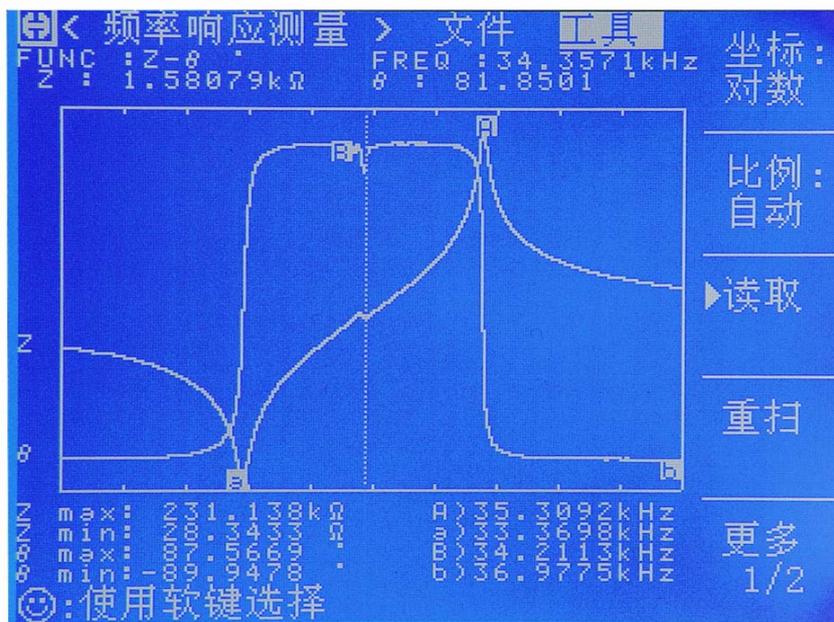
二. LCR自动元件分析仪频率响应分析功能介绍

LCR-8101G型自动元件分析仪是一种精度高、测试范围宽、6位测试分辨率的低频阻抗测量仪器, 具有极佳的元件频率响应分析功能。

该产品测试频率范围分别为:

HM8118: 20Hz--200kHz, 分辨率 10mHz。

LCR-8101G: 20Hz—1MHz, 分辨率 1mHz。



HM8118/LCR-8101G的频响分析测量功能适用于分析测量频率在 100kHz / 1MHz 以内的超声器件的阻抗分析。具体为: 对被测量元器件在用户预先设置的频率范围 (20Hz—300kHz) 或 (20Hz—1MHz) 内, 按每次扫描频率点数为 120、240、480 或 960, 以线性或对数方式的扫描频率分布对被测元件进行频率递增的自动扫描测量, 其中测试信号可按用户要求设定, 在 LCD 屏幕上动态显示被测元器件主副参数随频率变化的响应曲线。

在该响应曲线中, 横轴为频率, 纵轴为所选择测量参数。

该扫描范围内的任一频率点测量结果均可在屏幕上读出, 在显示元件频率响应得同时, 屏幕上

方显示以下参数:

- a. 当前测量显示的参数组合: 如 Z/θ , C_p/D 等;
- b. 垂直虚线与响曲线相交处的对应频率;
- c. 该对应频率下设定参数的测量值, 如 Z , θ 等。

使用软件和导向键, 调节虚线位置, 可读出任意位置对应频率的测量值。

在屏幕下方, 同时显示该扫描范围内被测元件的下列参数:

- a. 主参数最大值(如 Z_{max})及对应频率;
- b. 主参数最小值(如 Z_{min})及对应频率;
- c. 付参数最大值(如 θ_{max})及对应频率;
- d. 付参数最大值(如 θ_{min})及对应频率;

当用户作超声器件的阻抗分析时, 还可以显示超声器件的常用参数如下(属于定制专用参数):

静态电容(1kHz) C^T ;

最小阻抗 Z_{min} 及其对应频率 f_s , f_s 为串联谐振频率(谐振频率);

最大阻抗 Z_{max} 及其对应频率 f_p , f_p 为并联谐振频率(反谐振频率);

$$\text{机电耦合系数 } k_p \approx \sqrt{\frac{f_p - f_s}{f_s}} \times 2.51;$$

$$\text{机械品质因数 } Q_m \approx \frac{f_p^2}{2\pi f_s Z_{min} C^T (f_p^2 - f_s^2)} \text{ 等。}$$

客户可以根据自身要求, 提出相应需测量参数, 如自由介电常数 ϵ_{33}^T 等, 由我们根据仪器测量的实际情况, 执行不同的测量和数学运算, 以满足客户的要求。

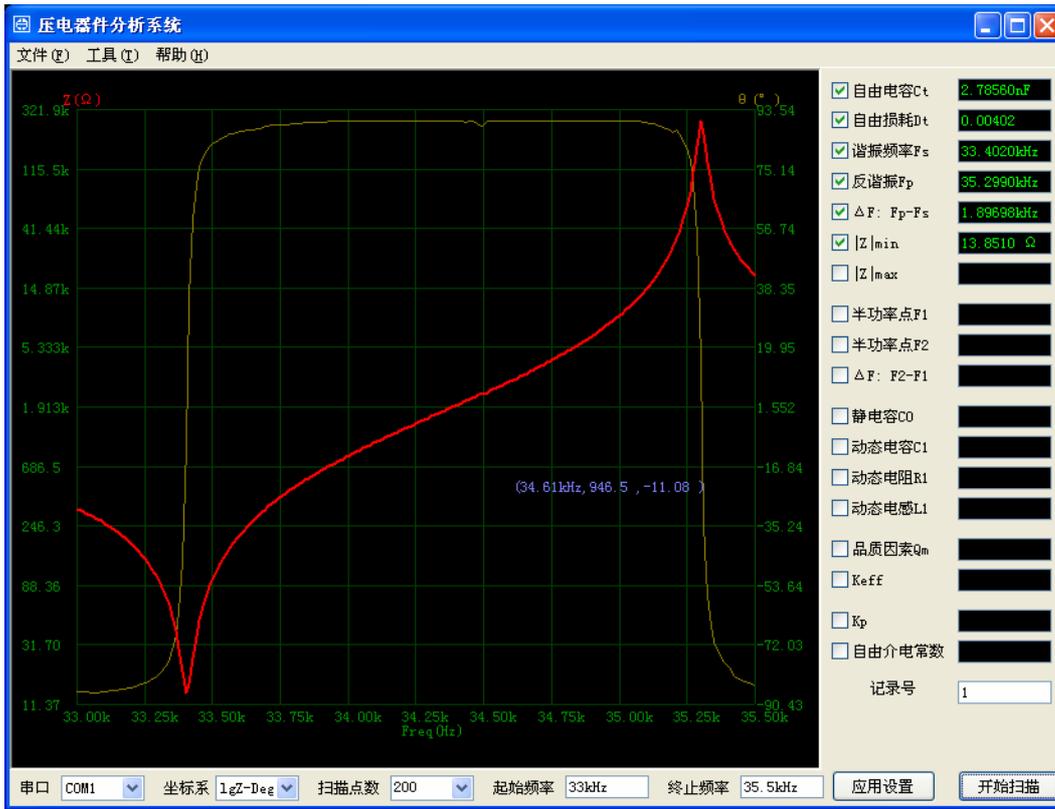
HM8118具有标配的 RS232C 接口, 可选配 GPIB 接口。LCR-8101G 具有标配的 RS232C 接口和 GPIB 接口。

通过上述接口, 可以将把本仪器与主控计算机进行联机通讯。通过接口, 将测试结果和频响曲线发送给电脑, 方便用户使用计算机自动生成测试报告, 提高生产效率。

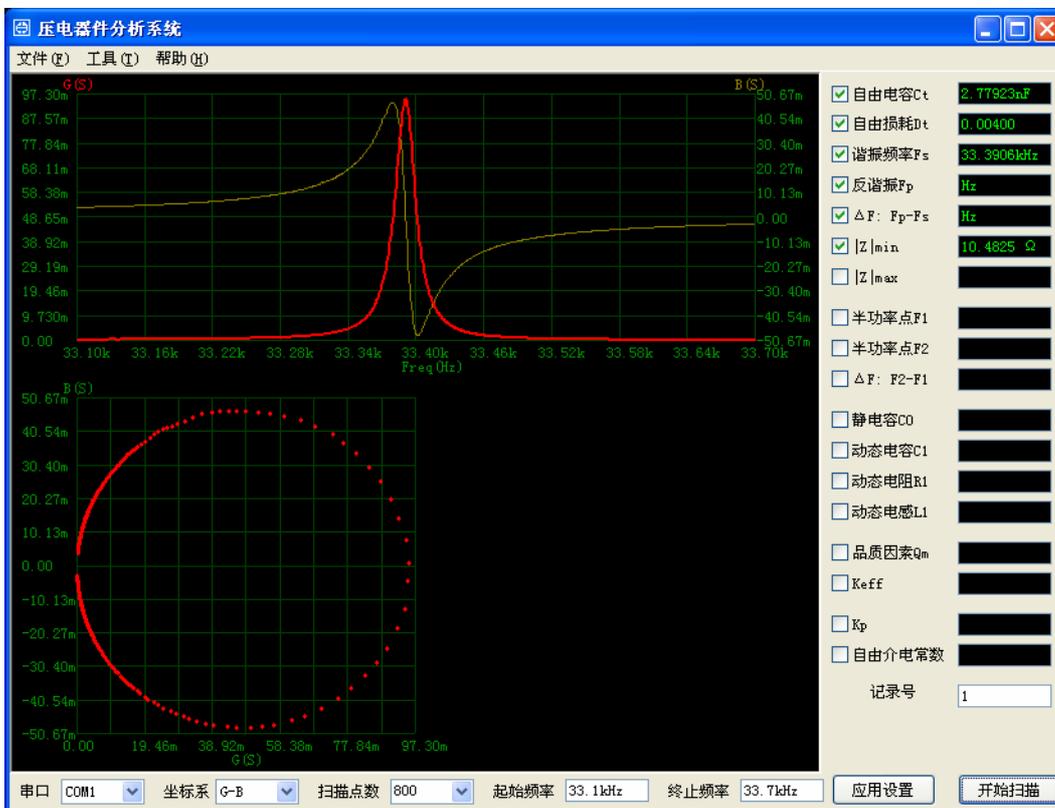
用户还可以在计算机上编程, 通过接口控制仪器的测量频率并读出测试结果, 形成适应于用户自己的阻抗分析界面。

通过本公司专用的软件, 还可以实现更加复杂的压电器件分析功能。具体软件界面如下:

A. 阻抗/相位—频率特性图



B. 电导/电纳—频率特性图，电导—电纳特性圆图

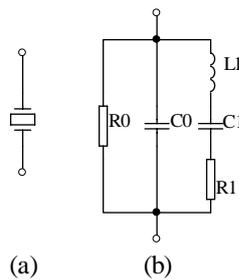


二、压电器件特性及仪器分析能力

用自动分析仪可以评定压电陶瓷片、压电换能器、振动系统（换能器加上变幅杆、模具）等各种器件设备的性能优劣。用自动元件分析仪分析超声器件设备，最重要的几个参数如下：

对于压电器件来说，它的阻抗特性是随着频率的变化而变化的，完整地描述一个压电器件需用极其复杂的电路网络，而在我们感兴趣的频段内可以选取一较为简单的网络（包括电感、电阻、电容）来描述，实践证明用下述网络中包含的电感、电阻、电容来构建该网络，可以较好地再现所需的网络特性。

对一般压电器件来说，在远离某一谐振频率的频域内，没有其它谐振，在此谐振频率附近频域可将该器件用若干电感、电阻、电容来模拟，其相应等效电路如下图所示：



一般压电器件等效电路

图(a)为表示压电器件的符号，图(b)为压电器件的等效电路。其中 C_0 是静态电容， R_1 、 C_1 、 L_1 分别为动态阻抗中的电阻、电容、电感， R_0 为材料的绝缘阻抗。

在上述等效电路中，由于电路以并联方式表达，则使用导纳来分析是较为方便的，令整个电路的导纳为 Y ，并联支路（由 R_0 ， C_0 组成，称之为静态导纳）导纳为 Y_0 ，串联支路（由 R_1 ， L_1 ， C_1 组成，称为动态导纳）导纳为 Y_1 。

$$Y = Y_0 + Y_1 \quad Y_0 = 1/R_0 + j\omega C_0, \quad Y_1 = 1/[R_1 + j\omega L_1 + 1/(j\omega C_1)]$$

通过运算可以得出总导纳 Y 和动态导纳 Y_1 随频率 f 的变化情况（导纳-频率特性）。

Y 和 Y_1 是一个矢量，应将其分解为实部（电导 G ）和虚部（电纳 B ）方可以图形形式表示。

上节图 B 中为导纳特性的两种不同表示方法。上图为电导/电纳随频率的变化特性图，黄线表示 $B(S) - f$ 特性图，红线为 $G(S) - f$ 特性图。下图为一导纳矢量平面，横坐标表示电导 G （导纳的实部），纵坐标表示电纳 B （导纳的虚部），该图表示随频率变化时，该器件的导纳的变化特性。

当信号频率在谐振频率（串联谐振）附近的范围内发生变化时，矢量 Y_1 的轨迹为一圆，其圆心为 $(1/2R_1, 0)$ ，半径为 $1/2R_1$ 。

在谐振频率周围矢量 Y_1 的轨迹旋转一周时，矢量 Y_0 的随频率变化一般较小，可基本看作一常数，因此，把 Y_1 的轨迹圆在导纳平面上沿纵轴向上平移。即可得到导纳 Y 随频率变化的轨迹圆，即所谓的导纳圆。

利用该导纳圆图，可以求出压电器件的等效电路和其他一些重要参数。

- ◆ F_s ：机械谐振频率，即振动系统的工作频率、设计中应尽可能接近期望值。对于清洗机，振子的谐振频率一致性越高越好。对于塑焊机或超声加工，变幅杆或模具设计不合理的情况下，振子的谐振频率会偏离工作点。
- ◆ G_{max} ：串联谐振时的电导，振动系统工作时的电导值，它是动态电阻 R_1 的倒数。在相同的支

撑条件下越大越好, $G_{\max}=1/R_1$ 。一般地, 对于清洗或焊接振子来说, 大约在 50ms~500ms 之间。如果太小的话, 一般来说, 振子或振动系统工作会有问题, 如电路不匹配或转换效率低、振子寿命短。

- ◆ **C0**: 压电器件等效电路中静态支路的电容量, $C_0=C_T-C_1$ (其中: C_T 为 1kHz 下的自由电容, C_1 为压电器件等效电路中动态支路的电容量)。使用时要以电感对 C_0 进行平衡。在清洗机或超声加工机器的电路设计中, 正确地平衡 C_0 可以提高电源的功率因素, 使用电感平衡有两种方法, 并联调谐和串联调谐。
- ◆ **Q_m**: 机械品质因素, 以电导曲线法确定, $Q_m=F_s/(F_2-F_1)$, Q_m 越高越好, 因为 Q_m 越高, 振子的效率越高; 但 Q_m 必须与电源匹配, Q_m 值太高时, 电源无法匹配。
对于清洗振子来说, Q_m 值越高越好, 一般来说, 清洗振子的 Q_m 要达到 500 以上, 太低的话, 振子效率低。
对于超声加工来说, 振子本身的 Q_m 值一般在 500 左右, 加上变幅杆之后, 一般达到 1000 左右, 再加上模具, 一般达到 1500~3000。太低的话, 振动效率低, 但是不能太高, 因为 Q_m 越高, 工作带宽越窄, 电源难以匹配, 电源难以工作在谐振频率点, 设备无法工作。
- ◆ **F₂, F₁**: 振子半功率点频率。对于超声加工的整个振动系统 (包含变幅杆和模具) 来说, F_2-F_1 要大于 10Hz, 否则频带太窄, 电源难以工作在谐振频率点, 设备无法工作。
 F_2-F_1 与 Q_m 值直接相关, $Q_m=F_s/(F_2-F_1)$ 。
- ◆ **F_p**: 反谐振频率 (主要为 C_0 、 L_1 产生的谐振), 压电振子并联支路的谐振频率, 在这个频率下, 压电振子的阻抗最大, 导纳最小。
- ◆ **Z_{max}**: 反谐振阻抗, 正常的情况下, 一个换能器的反谐振阻抗都在几十千欧姆以上, 如果反谐振阻抗比较低, 往往振子的寿命比较短。
- ◆ **C_T**: 自由电容, 压电器件在 1kHz 频率下的电容值, 此值和数字电容表测得的值是一致的。这个值减去动态电容 C_1 就可以得到真正的静电容 C_0 , C_0 需要用外接电感平衡, C_1 在系统工作的时候参与能量转换, 不必平衡。
- ◆ **动态电阻 R₁**: 即为图中压电振子串联支路的电阻。计算公式为: $R_1=1/D$, 其中 D 为导纳圆的直径。
- ◆ **动态电感 L₁**: 即为图中压电振子串联支路的电感。

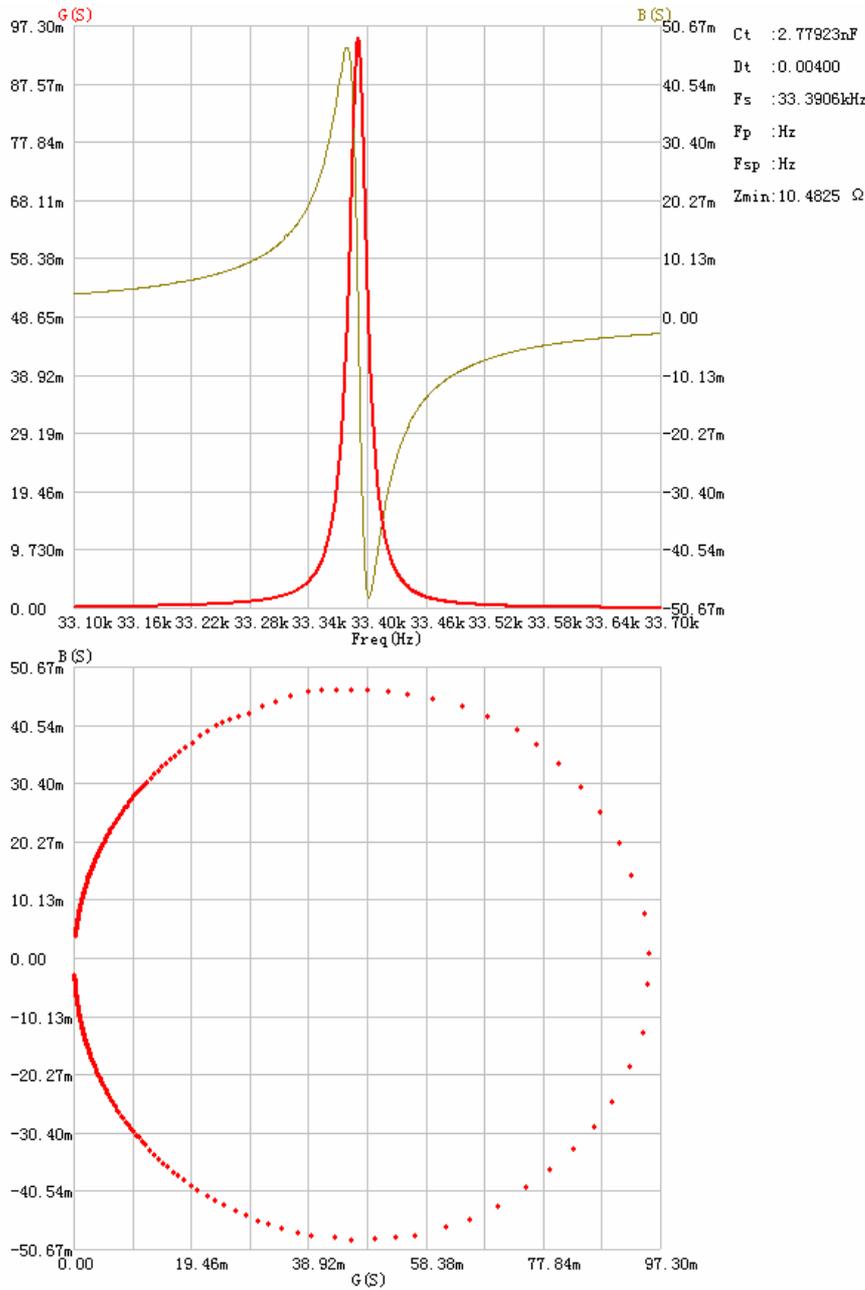
计算公式为: $L_1 = \frac{R_1}{2\pi(F_2 - F_1)}$, 其中 R_1 为动态电阻, F_1 、 F_2 为半功率点。

- ◆ **动态电容 C₁**: 即为图中压电振子串联支路的电容。
计算公式为: $C_1 = \frac{1}{4\pi^2 F_s^2 L_1}$, 其中 F_s 为谐振频率, L_1 为动态电感。
- ◆ **静态电容 C₀**: 计算公式为 $C_0=C_T-C_1$, 其中 C_T 为自由电容, C_1 为动态电容。
- ◆ **K_{eff}**: 有效机电耦合系数, 一般来说, K_{eff} 越高, 说明转换效率越高

自动元件分析仪及其软件的推出, 受到了广大压电器件厂家和研究单位的欢迎, 为这些客户节省了大量资金, 提高了效率, 同时保证测试的准确性。

Oitek推荐的LCR电桥不仅可以提供性能优越的压电器件测试仪器, 同时针对不同产品、不同要求, 可以提供专门定制, 以适应不同的使用要求。

使用LCR电桥专用通讯软件对压电器件进行测试，计算机保存的图像实例：



北京海洋兴业科技股份有限公司 (证券代码: 839145)

北京市西三旗东黄平路19号龙旗广场4号楼(E座)906室

电话: 010-62176775 62178811 62176785

企业QQ: 800057747 维修QQ: 508005118

企业官网: www.hyxyyq.com

邮编: 100096

传真: 010-62176619

邮箱: market@oitek.com.cn

购线网: www.gooxian.com



扫描二维码关注我们

查找微信公众号: 海洋仪器