

中华人民共和国国家标准

压电陶瓷材料性能测试方法 低机械品质因数压电陶瓷材料性能的测试

GB 11320—89

Test methods for the properties of piezoelectric ceramics
material with the low mechanical quality factor

1 主题内容与适用范围

本标准规定用导纳圆图法测定低品质因数压电陶瓷振子的厚度振动模的机电耦合系数 k_t 和品质因数 Q_m 。

本标准适用于 $k_t^2 Q_m$ 不小于 0.2 的低品质因数压电陶瓷材料。

2 名词术语和符号

本标准所采用的术语和符号的定义符合 GB 3389.1《压电陶瓷材料性能测试方法常用名词术语》的规定。

3 测试原理

采用导纳圆图法测量低机械品质因数压电陶瓷材料厚度模振子的性能参数。

3.1 等效电路

低品质因数的压电陶瓷振子在谐振频率附近的等效电路示于图 1，总导纳 Y 随频率的变化轨迹示于图 2。

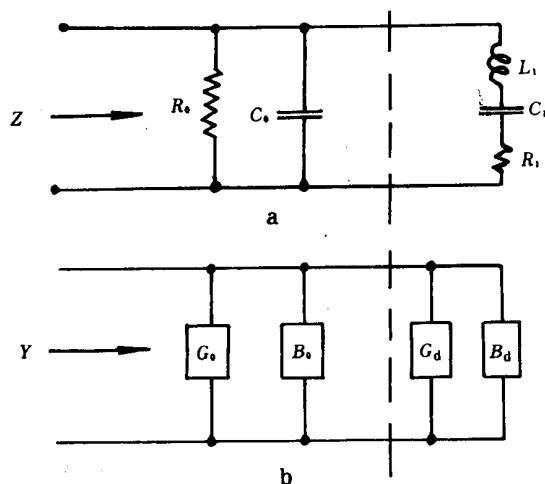


图 1 单模有损耗压电振子的等效电路

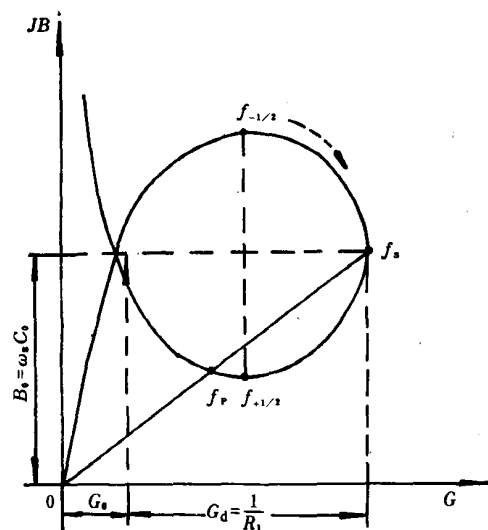


图 2 导纳图

3.2 导纳特性

压电振子的总导纳 Y 可用下式表示:

$$Y = Y_0 + Y_d = G + jB = (G_0 + G_d) + j(B_0 + B_d)$$

$$= \left[\omega C_0 \operatorname{tg} \delta_e + \frac{R_1}{R_1^2 + \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right)^2} \right] + j \left[\omega C_0 - \frac{\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}}{R_1^2 + \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (1)$$

式中: Y ——总导纳, S;

Y_0 ——总静态导纳, S;

Y_d ——总动态导纳, S;

G ——总电导, S;

B ——总电纳, S;

G_0 ——漏导(电损耗等效电导), S;

G_d ——动态电导, S;

B_0 ——静态电纳, S;

B_d ——动态电纳, S;

ω ——角频率, rad/s;

C_0 ——并联电容, F;

$\operatorname{tg} \delta_e$ ——介电损耗角正切;

R_1 ——动态电阻, Ω ;

L_1 ——动态电感, H;

C_1 ——动态电容, F。

4 测试条件

4.1 环境条件

正常试验大气条件:

温度: 25 ± 1 °C; 相对湿度: 48%~52%; 大气压: 86~106 kPa。

4.2 试样尺寸及要求

试样为薄圆片, 两主平面平行度不大于厚度公差的二分之一, 在两主平面上全部被覆金属层作为电

极,沿厚度方向进行极化处理。试样直径 d 与厚度 t 之比应能满足激励单纯厚度振动模的要求。一般直径 d 与厚度 t 之比在 10 左右。

推荐试样尺寸: $\phi 20 \times 2$ mm。

4.3 测试前试样的准备

试样应保持清洁干燥,根据不同瓷料要求,极化后存放一定时间,并在 4.1 条规定的环境下放置 2 h 后进行测试。

4.4 试样两端测试电场 E 的要求

$E \leq 1$ V/mm。

5 测试方法

5.1 测试设备和要求

自动导纳电桥或能测定导纳的全套设备,如低频阻抗分析仪。

频率范围:能满足测量厚度模基波振动导纳特性,一般频率在 5 MHz 以下的范围内。

信号分辨率:1 Hz。

电导 G 及电纳 B 测量范围:

0~100 ms,最大分辨率 10 μ s,显示位数 $4\frac{1}{2}$ 。

5.2 试样支架及夹持方式

试样直接夹持在电桥的试样夹具上测量,夹持力要小,并保持夹具与试样电接触良好,接触点的直径为 $\phi 0.3 \sim 1$ mm。夹持点位于离试样中心四分之三半径以外处。

5.3 测试步骤

测试过程中首先要消除试样夹具的杂散参量的影响,并在试样上加小于 1 V 的激励电平。然后测出基波振动导纳特性,测定两个半功率点的频率值 $f_{-1/2}$ 和 $f_{+1/2}$,串联谐振频率 f_s 及相应的动态电导 G_d 和静态电纳 B_0 。

6 材料参数的计算

6.1 最大电导频率 $f_{G_{\max}}$

$$f_{G_{\max}} = f_s \quad \dots\dots\dots (2)$$

6.2 厚度伸缩振动机械品质因数 Q_m

$$Q_m = \frac{f_s}{f_{+1/2} - f_{-1/2}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

6.3 厚度伸缩振机电耦合系数 k_t

$$k_t \simeq \sqrt{\frac{\pi^2}{8} \times \frac{C_1}{C_0}} = \sqrt{\frac{\pi^2}{8} \times \frac{G_d}{B_0 \cdot Q_m}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中: $C_1 = \frac{1}{Q_m \omega_s R_1} = \frac{1}{2\pi f_s Q_m R_1}$

$$C_0 = \frac{B_0}{\omega_s}$$

6.4 纵向声速 v_t^D

$$v_t^D = \frac{2f_s t}{\sqrt{1 - k_t^2}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

6.5 开路弹性刚度常数 C_{33}^D

$$C_{33}^D = \rho v_t^{D2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

6.6 压电应力常数 e_{33}

$$e_{33} = k_t \sqrt{C_{33}^D \epsilon_{33}^s \epsilon_0} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中 ϵ_{33}^s 可在高频下(如七次谐波以上)实测求取,也可用下式(当 $k_p < 0.1$ 时)求取:

$$\epsilon_{33}^s = \epsilon_{33}^T (1 - k_p^2) \quad \dots\dots\dots (8)$$

6.7 厚度伸缩振动频率常数 N_t

$$N_t = f_p \cdot t \quad \dots\dots\dots (9)$$

式(2)至式(9)中:

f_s ——基波串联谐振频率,Hz;

$f_{-1/2}$ ——上半功率点频率,Hz;

$f_{+1/2}$ ——下半功率点频率,Hz;

G_d ——动态电导,S;

B_0 ——静态电纳,S;

C_1 ——动态电容,F;

C_0 ——并联电容,F;

R_1 ——动态电阻, Ω ;

t ——试样厚度,m;

ρ ——试样密度, kg/m^3 ;

v_t^D ——纵向声速,m/s;

e_{33} ——压电应力常数, $\text{N/V} \cdot \text{m}$ 或 C/m^2 ;

C_{33}^D ——开路弹性刚度常数, N/m ;

ϵ_{33}^s ——受夹相对介电常数;

ϵ_0 ——真空介电常数, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$;

f_p ——基波并联谐振频率,Hz。

7 试验报告

低机械品质因数压电陶瓷材料性能测试报告应包括:

- a. 委托单位;
- b. 试样名称、编号及极化日期;
- c. 测试结果;
- d. 测试仪器名称及型号;
- e. 试验室温度及相对湿度;
- f. 试验日期及试验人员姓名;
- g. 备注。

附加说明：

本标准由全国铁电压电陶瓷测试专业标准化工作组提出。

本标准由中国科学院上海硅酸盐研究所起草。

本标准主要起草人虞孝栋、冯宝康。