

ICS 31-030
L 90



中华人民共和国国家标准

GB/T 3389—2008

代替 GB/T 3389.2—1999, GB/T 3389.3—2001, GB/T 3389.4—1982, GB/T 3389.5—1995, GB/T 3389.6—1997,
GB/T 3389.7—1986, GB/T 3389.8—1986

压电陶瓷材料性能测试方法 性能参数的测试

Test methods for the properties of piezoelectric ceramics—
Test for the performance parameter

2008-08-04 发布

2009-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和符号	1
4 测试条件	1
4.1 测试的大气条件	1
4.2 仲裁测试的大气条件	1
5 性能测试	1
5.1 居里温度	1
5.2 纵向压电应变常数(静态)	2
5.3 强场介电性能	4
5.4 热释电系数	6
5.5 柱体纵向长度伸缩振动模式	7
5.6 圆片厚度伸缩振动模式	10
5.7 长方片厚度切变振动模式	12
5.8 特征频率和动态电阻的传输线路法测试	14
附录 A (规范性附录) $\Delta f/f_p$ 与 k_{33} 对应数值	15
附录 B (规范性附录) 泛音比 f_{s1}/f_{s1} 与 k_t, k_{15} 的关系	19
附录 C (规范性附录) f_{s1}/f_p 与 k_t, k_{15} 的关系	32
附录 D (规范性附录) 特征频率和动态电阻的传输线路法测试	34

前 言

本标准是对 GB/T 3389.2—1999《压电陶瓷材料性能测试方法 纵向压电应变常数 d_{33} 的静态测试》、GB/T 3389.3—2001《压电陶瓷材料性能测试方法 居里温度 T_C 的测试》、GB/T 3389.4—1982《压电陶瓷材料性能测试方法 柱体纵向长度伸缩振动模式》、GB/T 3389.5—1995《压电陶瓷材料性能测试方法 圆片厚度伸缩振动模式》、GB/T 3389.6—1997《压电陶瓷材料性能测试方法 长方片厚度切变振动模式》、GB/T 3389.7—1986《压电陶瓷材料性能测试方法 强场介电性能的测试》和 GB/T 3389.8—1986《压电陶瓷材料性能测试方法 热释电系数的测试》的整合修订。本标准自实施之日起,代替 GB/T 3389.2—1999、GB/T 3389.3—2001、GB/T 3389.4—1982、GB/T 3389.5—1995、GB/T 3389.6—1997、GB/T 3389.7—1986 和 GB/T 3389.8—1986。

本标准与 GB/T 3389.2—1999、GB/T 3389.3—2001、GB/T 3389.4—1982、GB/T 3389.5—1995、GB/T 3389.6—1997、GB/T 3389.7—1986 和 GB/T 3389.8—1986 相比,主要有下列变化:

- 修订了相关符号;
- 修改了测试条件;
- 确定了试样极化后的存放时间;
- 增加了强场介电性能测试步骤中的“保持电压 1 min 及每次测量后电压应降到 0 V,并保持 2 min 后再继续测量”的内容;
- 增加了柱体纵向和圆片厚度伸缩振动模式的“电桥法”测试方法;统一了柱体纵向、圆片厚度和长方片厚度切变振动模式的传输线路法测试方法,并将其规定列为附录 D;
- 统一了柱体纵向、圆片厚度和长方片厚度切变振动模式的测试信号要求。

本标准附录 A、附录 B、附录 C 和附录 D 均为规范性附录。

本标准由中国船舶工业集团公司提出。

本标准由全国海洋船标准化技术委员会船用材料应用工艺分技术委员会归口。

本标准起草单位:中国船舶工业集团公司国营第七二一厂、中国船舶重工集团公司第七一五研究所。

本标准主要起草人:朱斌、张晖、张丽英、俞锁龙。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 3389.2—1982、GB/T 3389.2—1999;
- GB/T 3389.3—1982、GB/T 3389.3—2001;
- GB/T 3389.4—1982;
- GB/T 3389.5—1982、GB/T 3389.5—1995;
- GB/T 3389.6—1982、GB/T 3389.6—1997;
- GB/T 3389.7—1986;
- GB/T 3389.8—1986。

压电陶瓷材料性能测试方法

性能参数的测试

1 范围

本标准规定了压电陶瓷材料性能的测试条件、测试方法和振动模式下的测试方法。

本标准适用于压电陶瓷材料居里温度、纵向压电应变常数(静态)、强场介电性能、热释电系数的参数测试,压电陶瓷材料柱体纵向长度伸缩、圆片厚度伸缩和长方片厚度切变振动模式下的参数测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 2413 压电陶瓷材料体积密度测量方法

GB/T 2414.1 压电陶瓷材料性能试验方法 圆片径向伸缩振动模式

GB/T 3389.1 铁电电压电陶瓷词汇

CB/T 1218—1993 水声常用压电陶瓷元件

3 术语、定义和符号

GB/T 3389.1 中确立的术语、定义和符号适用于本标准。

4 测试条件

4.1 测试的大气条件

测试的大气条件如下:

- a) 温度:15℃~35℃;
- b) 相对湿度:25%~75%;
- c) 大气压力:86 kPa~106 kPa。

4.2 仲裁测试的大气条件

仲裁测试的大气条件如下:

- a) 温度:25℃±2℃;
- b) 相对湿度:45%~55%;
- c) 大气压力:86 kPa~106 kPa。

5 性能测试

5.1 居里温度

5.1.1 测试原理

当温度高于居里温度(T_c)时,压电陶瓷处于顺电相,自发极化和压电性也随之而消失。在居里温度处,压电陶瓷材料的许多物理性质,如电容率、热容量、线膨胀系数都将发生突变,因此,只要测定这种突变点对应的温度就能确定压电陶瓷材料的居里温度。本标准采用测试试样电容率突变点来确定压电陶瓷材料的居里温度,并推荐采用阻抗分析仪来测量这个突变点。

5.1.2 试样

5.1.2.1 试样为带有电极的未极化薄片。推荐尺寸 $\phi 20\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ ，尺寸公差应符合 CB/T 1218—1993 表 5 中 3 级的要求。

5.1.2.2 试样应保持清洁、干燥。

5.1.3 测试装置及设备

5.1.3.1 测试装置

居里温度测试装置见图 1。

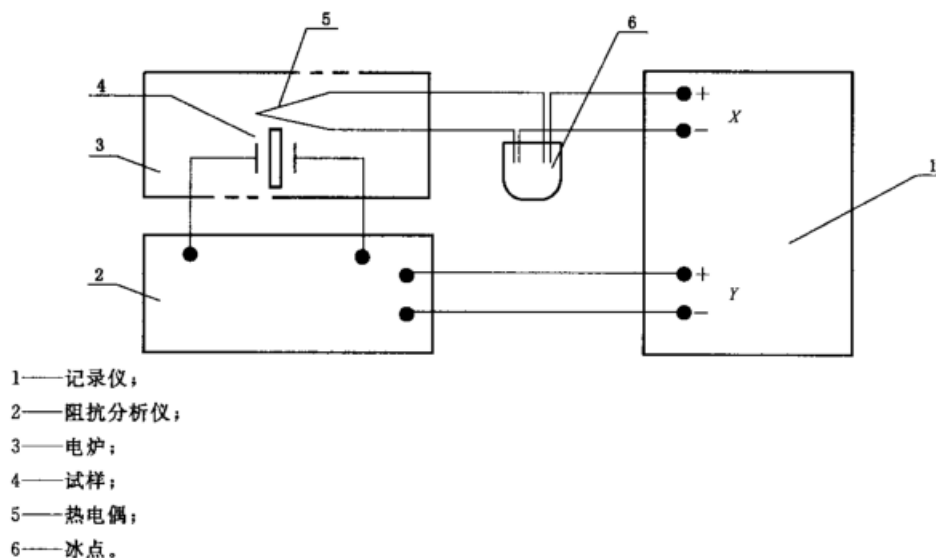


图 1 居里温度测试装置

5.1.3.2 测试设备

居里温度测试设备及要求如下：

- 记录仪测量最大允许误差为 $\pm 1\%$ ；
- 阻抗分析仪测量最大允许误差为 $\pm 1\%$ ；
- 电炉炉膛内温度误差为 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- 热电偶分度号为 k，等级为 I。

5.1.4 测试

居里温度测试步骤如下：

- 将试样置于炉膛内，热电偶测量端距试样表面为 $1\text{ mm} \sim 2\text{ mm}$ 。
- 按图 1 测试装置接线，调节阻抗分析仪的频率至一定值，而后维持其频率不变；电炉以速率为 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min} \sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温（或降温），居里温度附近其速率为 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min} \sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。
- 在记录仪上读出电容或电纳随温度变化曲线的峰值，此峰值对应的温度即为该试样的居里温度。若曲线上出现一个以上的峰值，它们对应的温度均为相变温度，最高的相变温度为居里温度。

5.2 纵向压电应变常数（静态）

5.2.1 测试原理

在没有外电场的作用，满足电学短路条件，试样沿极化方向受力时，其电位移分量按公式(1)计算。

$$D_{33} = d_{33} T_3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

D_{33} ——电位移分量的数值，单位为库仑每平方米(C/m^2)；

d_{33} ——纵向压电应变常数的数值,单位为库仑每牛顿或米每伏特(C/N 或 m/V);

T_3 ——纵向应力的数值,单位为牛顿每平方米(N/m²)。

当试样受力面积与释放电荷面积相等,并且接在试样上的电容远大于试样的自由电容时,公式(1)可写成公式(2)形式。

$$d_{33} = \frac{Q_3}{F_3} = \frac{CV}{F_3} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

Q_3 ——试样释放压力后所产生的电荷量的数值,单位为库仑(C);

F_3 ——试样在测量时所受的力的数值,单位为牛顿(N);

C ——并联电容的数值,单位为法拉(F);

V ——静电计所测得的电压的数值,单位为伏特(V)。

5.2.2 试样

5.2.2.1 推荐尺寸 $\phi 20 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \sim \phi 20 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 。试样表面应平整,两个主平面的平行度应不大于厚度公差的一半,尺寸公差应符合 CB/T 1218—1993 表 5 中 3 级的要求。

5.2.2.2 试样应保持清洁、干燥。试样的两个主平面上应全部涂覆金属电极层,沿厚度方向进行极化处理,极化后存放时间应不小于 72 h,并在 4.1 的环境条件下置放 2 h 后进行测试。

5.2.3 测试装置及设备

5.2.3.1 测试装置

纵向压电应变常数测试装置见图 2。

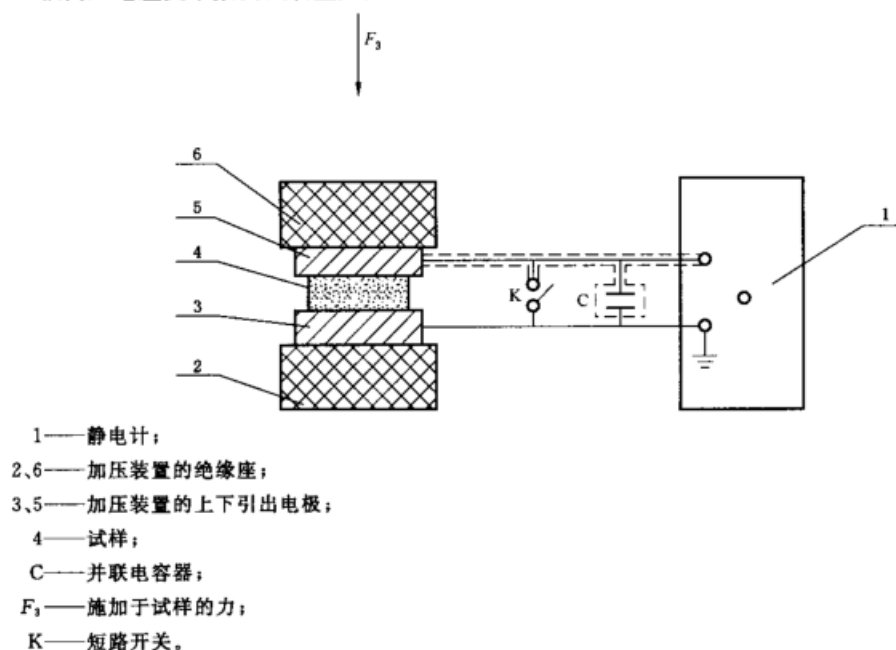


图 2 纵向压电应变常数测试装置

5.2.3.2 测试设备

纵向压电应变常数测试设备及要求如下:

- 整个检测系统的绝缘电阻大于 $1 \times 10^{10} \Omega$, 并保持良好的接地;
- 静电计的灵敏度应不低于 0.1 mV, 输入阻抗大于 $1 \times 10^{10} \Omega$, 测量最大允许误差为 $\pm 5\%$;
- 并联电容器的电容量大于试样自由电容 100 倍以上;
- 加压装置应有缓冲功能, 以保证加压时对试样仅有静压力而无冲击力, 并能在 1 s 之内迅速卸

压;施加的压力应垂直于试样表面,卸压时试样不受振动且无侧向移动,引出电极的大小应覆盖试样金属电极面,压力误差应不大于1%。

5.2.4 测试

纵向压电应变常数测试步骤如下:

- a) 将试样放入图2所示加压装置的上下引出电极的中心位置;
- b) 合上短路开关K;
- c) 缓慢加压,施加于试样上的应力为 $1 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \sim 1 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$;
- d) 校准静电计的零点;
- e) 断开短路开关,在1s之内迅速释放施加于试样上的压力;
- f) 记下静电计上电压的稳定读数;
- g) 根据测得的电压和施加于试样上的压力及并接在试样上的电容,按公式(2)计算纵向压电应变常数。

5.3 强场介电性能

5.3.1 测试原理

压电陶瓷材料的自由相对电容率和介电损耗角正切值与温度、湿度、交变电场的频率、场强和施加电压时间有关,本标准所指的强场介电性能即是在强交变电场作用下的介电性能,一般指自由相对电容率和介电损耗角正切值。本标准采用图3所示的1kHz高压西林电桥测强场介电性能。

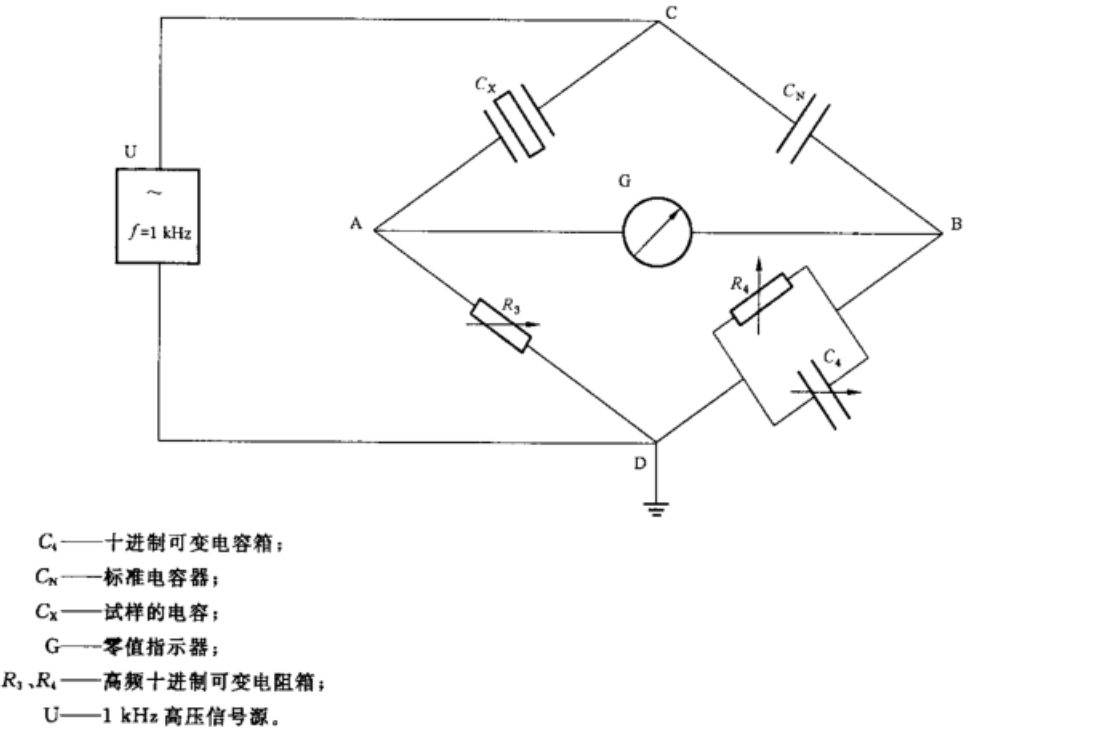


图3 1 kHz 高压西林电桥电路图

当图3的电桥达到平衡时,公式(3)成立:

$$C_x = \frac{C_n R_4}{R_3} \left(\frac{1}{1 + \tan^2 \delta} \right) \dots\dots\dots (3)$$

又根据定义:

$$\tan \delta = \omega C_4 R_4 \dots\dots\dots (4)$$

式中:

C_4 ——电容箱电容的数值,单位为法拉(F);

C_X ——试样电容的数值,单位为法拉(F);

C_N ——标准电容器电容的数值,单位为法拉(F);

R_3, R_4 ——电阻箱电阻的数值,单位为欧姆(Ω);

$\tan\delta$ ——试样的介电损耗角正切值的数值;

ω ——角频率的数值,单位为弧度每秒(rad/s)。

当 $\tan\delta \leq 0.1$ 时,公式(3)可用公式(5)代替。

$$C_X = C_N \frac{R_4}{R_3} \quad \text{..... (5)}$$

为了便于直接读出介电损耗角正切值,因为 $\omega = 2\pi \times 1\,000 \text{ rad/s}$,取 $R_4 = 1\,000/(2\pi) \approx 159.2 \, \Omega$,则得到公式(6)、公式(7)。

$$C_X = C_N \frac{159.2}{R_3} \quad \text{..... (6)}$$

$$\tan\delta = C_4 \times 10^6 \quad \text{..... (7)}$$

根据公式(6)可得到公式(8)。

$$\epsilon_{rs}^T = C_X \frac{t}{\epsilon_0 A} = C_N \frac{159.2t}{R_3 \epsilon_0 A} \quad \text{..... (8)}$$

式中:

ϵ_{rs}^T ——自由相对电容率的数值;

ϵ_0 ——真空电容率的数值 8.85×10^{-12} ,单位为法拉每米(F/m);

t ——试样厚度的数值,单位为米(m);

A ——试样的电极面积的数值,单位为平方米(m^2)。

5.3.2 试样

5.3.2.1 推荐试样尺寸 $\phi 20 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$,尺寸公差应符合 GB/T 1218—1993 表 5 中 3 级的要求。

5.3.2.2 试样应保持清洁、干燥,两个主平面上应全部涂覆金属电极层,沿厚度方向进行极化处理。极化后存放时间应不小于 72 h,并在 4.1 的环境条件下置放 2 h 后进行测试。

5.3.3 测试电路及设备

5.3.3.1 测试电路

强场介电性能测试电路见图 3。

5.3.3.2 测试设备

- 最高输出电压应不小于 1 000 V;频率:1 kHz;波形:正弦波,失真度应不大于 5%;电场强度应根据不同瓷料选取 200 V/mm、400 V/mm 或 600 V/mm。
- 测量范围:电容为 $2 \times 10^2 \text{ pF} \sim 2 \times 10^4 \text{ pF}$,损耗角正切值为 $1 \times 10^{-3} \sim 1$ 。
- 测量误差:在介电损耗角正切值小于 0.1 时,电容测量相对误差为 $\pm 1\%$;介电损耗角正切值测量相对误差为 $\pm 15\%$ 。

5.3.3.3 测试夹具

夹具应清洁、干燥,在测试电压下,绝缘电阻应不小于 $1 \times 10^{10} \, \Omega$ 。

5.3.4 测试

强场介电性能测试步骤如下:

- 将试样置于测试夹具中,按图 3 连接电路。缓慢增加电压至所需要的值,并在该电压值上保持 1 min,这期间分别反复调节电阻箱和电容箱,使零值指示器的指示数值最小;读取电阻箱和电容箱的数值。在每次测量后,电压应降到 0 V,并保持 2 min 后再继续测量。
- 将所读取的电阻箱电阻值和电容箱电容值代入公式(5)、公式(6),则可算出试样的自由相对

电容率和介电损耗角正切值。

5.4 热释电系数

5.4.1 测试原理

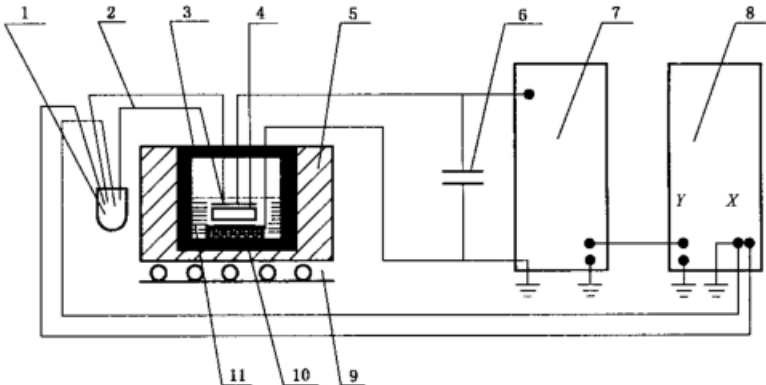
采用电荷积分法测量压电陶瓷材料的热释电系数。测试装置见图 4。该方法通过测量在电容器上积累的热释电电荷,测定剩余极化随温度的变化情况。使用静电计测得积分电容两端电压,输出至函数记录仪 Y 端,由于积分电容值远大于试样电容值,其两端的电压变化正比于试样剩余极化的变化。同时,用 X 端记录试样温度变化,可得到热释电电荷 Q 随温度 T 变化的曲线,微分该曲线得到热释电系数,见公式(9),从所得 Q - T 曲线上求得所需温度点的曲线斜率为该温度的热释电系数,见公式(10)。

$$p_m = \frac{dQ}{dT} \dots\dots\dots (9)$$

$$p_m = \frac{C_1}{A} \cdot \frac{dV}{dT} = \frac{C_1}{A} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

- p_m ——热释电系数的数值,单位为库仑每摄氏度平方米 [$C/(^{\circ}C \cdot m^2)$];
- C_1 ——积分电容值的数值,单位为法拉(F);
- A ——试样面积的数值,单位为平方米(m^2);
- ΔT ——温度变化值的数值,单位为摄氏度($^{\circ}C$);
- ΔV ——对应于 ΔT 的积分电容两端的电压变化值的数值,单位为伏特(V)。



- 1——冰点;
- 2——测温热电偶;
- 3——屏蔽温度室;
- 4——试样;
- 5——绝缘保温层;
- 6——积分电容;
- 7——静电计;
- 8——函数记录仪;
- 9——加热器;
- 10——试样绝缘支架;
- 11——绝缘油。

图 4 积分电荷法热释电系数测试装置

5.4.2 试样

5.4.2.1 推荐尺寸电极面积约 100 mm²,厚度应不大于 0.5 mm,尺寸公差应符合 CB/T 1218—1993 表 5 中 3 级的要求。

5.4.2.2 试样应保持清洁、干燥,试样应全部涂覆金属电极层,沿厚度方向进行极化处理,电阻应不小于 $1 \times 10^9 \Omega$,极化后存放时间应不小于 72 h,并在 4.1 的环境条件下置放 2 h 后进行测试。

5.4.3 测试装置及设备

5.4.3.1 测试装置

热释电系数测试装置见图 4。

5.4.3.2 测试设备

热释电系数测试设备及要求如下:

- 加温油槽应由铜制成,外壳接地以屏蔽外来信号的干扰;
- 热电偶分度号为 k、等级为 I;
- 加热器及温控设备应能控制试样升温速率在 $2^\circ\text{C}/\text{min} \sim 5^\circ\text{C}/\text{min}$ 范围以内;
- 积分电容一般为 $10 \mu\text{F}$,直流电阻应不小于 $1 \times 10^8 \Omega$,具体数值按被测试样电容量大小及热释电系数大小而定;
- 静电计的灵敏度应不低于 0.1 mV ,输入阻抗应不小于 $1 \times 10^{10} \Omega$,测量最大允许误差为 $\pm 5\%$;
- 函数记录仪的相对误差应不大于 1% ;
- 整个系统放电时间常数应不小于 $4 \times 10^3 \text{ s}$,系统总电阻应大于 $5 \times 10^8 \Omega$ (相对于采用 $10 \mu\text{F}$ 积分电容而言)。

5.4.4 测试

热释电系数测试步骤如下:

- 按图 4 接线,将试样置于样品架上,浸没于绝缘油中,热电偶测量端距试样表面为 $1 \text{ mm} \sim 2 \text{ mm}$;
- 对油槽加温升温至 85°C ,升温速率应控制在 $2^\circ\text{C}/\text{min} \sim 5^\circ\text{C}/\text{min}$,并进行记录;
- 按公式(10)计算该温度的热释电系数。

5.5 柱体纵向长度伸缩振动模式

5.5.1 测试原理

在纵向长度伸缩振动模式中,激励电场平行于弹性波的传播方向,弹性刚度(或柔顺)常数与机电耦合效应相关,包含基波及高次谐波的等效电路见图 5;在基波谐振频率附近,有机械损耗时的等效电路见图 6。

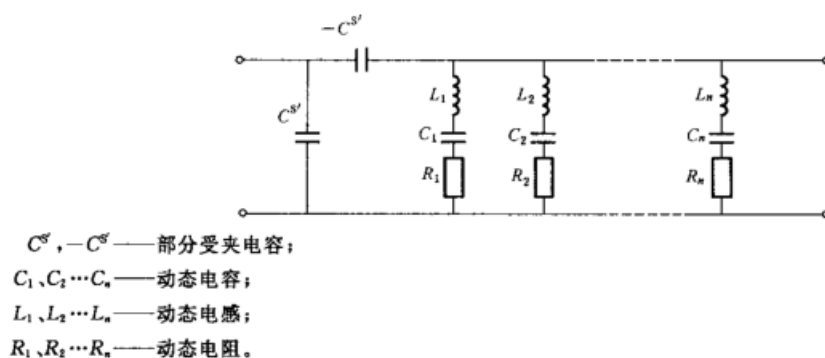


图 5 包含基波及高次谐波振动,有机械损耗时试样的等效电路

式中:

k_{15} ——厚度切变振动机电耦合系数;

x ——归一化频率的数值。

归一化频率按公式(17)计算。

$$x = \frac{\omega_{st}}{2v_s^D} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{f_{st}}{f_p} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中:

v_s^D ——厚度切变声速的数值,单位为米每秒(m/s);

t ——振动厚度的数值,单位为米(m)。

公式(16)表明,和厚度切变振动模式试样的串联谐振频率相联系的 x 只与 k_{15} 有关。因此,压电试样切变模式的泛音频率与基音频率之比,即泛音比也只与 k_{15} 有关。故可利用泛音比确定切变模式的 k_{15} 。

解超越方程式(16)可知,通过泛音比(f_{st}/f_{s1})可以确定试样的 k_{15} 及其他相关参数。 f_{st}/f_{s1} 和 k_{15} 的对应关系见附录 B,基频及泛音频率与基音并联谐振频率之比(f_{st}/f_p)和 k_{15} 的对应关系见附录 C。

5.7.2 试样

5.7.2.1 长方片的长度(l)与厚度(t)之比 $l/t \geq 10$, $l/b \geq 2$,试样三度方向之间垂直度的误差应不大于 5° 。两主平面的平行度应不大于厚度公差的一半,尺寸公差应符合 GB/T 1218—1993 表 5 中 3 级的要求。推荐尺寸 12 mm×6 mm×1 mm。

5.7.2.2 试样应保持清洁、干燥。垂直于 l 方向的端面上应全部涂覆金属电极层,沿 l 方向施加极化电场。极化处理后在常温下,除去极化电极,并在主平面上全部涂覆金属层作为激励电极。极化后存放时间应不小于 72 h,并在 4.1 的环境条件下置放 2 h 后进行测试。

5.7.3 电桥法测试装置及设备

电桥法测试装置、测试信号和测试设备的要求应符合 5.5.3.1~5.5.3.3 的要求。

试样夹具应稳固地支持住试样,同时应使试样处于相对自由振动状态,并保证夹具与试样电极面的电接触良好,夹具电极夹持点直径约为 $\phi 0.5$ mm,夹具应绝缘良好。

5.7.4 电桥法参数测量

5.7.4.1 C^T 和 $\tan\delta$ 的测量

将试样置于夹具内,调整电桥频率和电场强度使其符合 5.5.3.2 的要求,直接测量其 C^T 和 $\tan\delta$ 。

5.7.4.2 f_{s1} 和 R_1 的测量

将试样置于夹具内,按图 8 接入电桥输入端,调整电桥输出电压使其符合 5.5.3.2 的要求。在试样厚度切变模式基频附近调节电桥频率,使试样阻抗最小,此时频率即为 f_{s1} ,阻抗即为 R_1 。

5.7.4.3 f_{s3} 、 f_{s5} 、 f_{s7} 的测量

测量 f_{s1} 后,调高电桥频率,在试样厚度切变模式三次、五次、七次泛音频率附近,使试样阻抗分别出现最小值,此时频率分别为 f_{s3} 、 f_{s5} 、 f_{s7} 。

5.7.4.4 体积密度的测量

按 GB/T 2413 规定的方法测量试样的密度 ρ 。

5.7.4.5 试样尺寸的测量

用分度值为 0.01 mm 的量具,测量试样的尺寸 l 、 b 、 t 。

5.7.5 电桥法测量结果的计算

按 5.7.4 测出试样的 l 、 b 、 t 、 C^T 、 f_{s1} 、 f_{s3} 、 f_{s5} 、 f_{s7} 、 R_1 和 ρ ,根据表 3 中的计算公式、附录 B 和附录 C 规定,计算长方片厚度伸缩振动模式的材料性能参数值。

表 3 长方片厚度切变振动模式材料参数计算公式及单位

序号	符号	名 称	计 算 公 式	单 位
1	k_{15}	厚度切变振动机电耦合系数	测得 f_{a1} 、 f_{a3} 、 f_{a5} 、 f_{a7} 计算出 f_{a3}/f_{a1} 、 f_{a5}/f_{a1} 、 f_{a7}/f_{a1} 值,由附录 B 查得相应的 k_{15} 。一般情况下,一个泛音比可得到 k_{15} ,测量和计算同一试样的三个泛音比分别得到三个 k_{15} 值,取其平均值,可提高和保证测量与计算结果的精度	—
2	f_p	并联谐振频率	根据 k_{15} 查附录 C 得到相应的 f_{a1}/f_p 值。由 f_{a1} 、 f_{a3} 、 f_{a5} 、 f_{a7} 与其相应的 f_{a1}/f_p 值,分别计算得到四个并联谐振频率值,取其平均值	Hz
3	N_3	厚度切变频率常数	$N_3 = f_p \cdot t$	Hz · m
4	v_p^D	厚度切变声速	$v_p^D = 2f_p \cdot t$	m/s
5	Q_m	机械品质因数	$Q_m = \frac{f_p^2}{2\pi f_{a1} R_1 C^T (f_p^2 - f_{a1}^2)}$	—
6	ϵ_{11}^T	自由相对介电常数	$\epsilon_{11}^T = \frac{C^T \cdot t}{lb\epsilon_0}$	
7	ϵ_{11}^s	受夹相对介电常数	$\epsilon_{11}^s = (1 - k_{15}^2) \epsilon_{11}^T$	
8	s_{55}^D	切变开路弹性柔顺常数	$s_{55}^D = \frac{1}{4\rho(f_p t)}$	m^2/N
9	s_{55}^E	切变短路弹性柔顺常数	$s_{55}^E = \frac{s_{55}^D}{1 - k_{15}^2}$	
10	d_{15}	切变压电应变常数	$d_{15} = k_{15} \sqrt{\epsilon_{11}^T s_{55}^E \epsilon_0}$	C/N 或 m/V
11	g_{15}	切变压电电压常数	$g_{15} = \frac{d_{15}}{\epsilon_{11}^T \epsilon_0}$	V · m/N 或 m^2/C

5.8 特征频率和动态电阻的传输线路法测试

用传输线路法测试柱体纵向长度伸缩振动模式、圆片厚度伸缩振动模式和长方片厚度切变振动模式下的特征频率和动态电阻按附录 D 规定进行。

附 录 A
(规范性附录)
 $\Delta f/f_p$ 与 k_{33} 对应数值

$\Delta f/f_p$ 与 k_{33} 的对应关系见表 A.1。

表 A.1 $\Delta f/f_p$ 与 k_{33} 对应数值

$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}
0.001	0.049 7	0.034	0.284 9	0.067	0.393 5	0.100	0.473 2	0.133	0.537 4
0.002	0.070 2	0.035	0.288 9	0.068	0.396 2	0.101	0.475 4	0.134	0.539 2
0.003	0.086 0	0.036	0.292 8	0.069	0.399 0	0.102	0.477 5	0.135	0.540 9
0.004	0.099 2	0.037	0.296 7	0.070	0.401 6	0.103	0.479 6	0.136	0.542 7
0.005	0.110 8	0.038	0.300 6	0.071	0.404 3	0.104	0.481 7	0.137	0.544 4
0.006	0.121 4	0.039	0.304 3	0.072	0.407 0	0.105	0.483 8	0.138	0.546 1
0.007	0.131 0	0.040	0.308 1	0.073	0.409 6	0.106	0.485 9	0.139	0.547 8
0.008	0.140 0	0.041	0.311 7	0.074	0.412 2	0.107	0.487 9	0.140	0.549 6
0.009	0.148 4	0.042	0.315 4	0.075	0.414 7	0.108	0.490 0	0.141	0.551 3
0.010	0.156 3	0.043	0.318 9	0.076	0.417 3	0.109	0.492 0	0.142	0.553 0
0.011	0.163 9	0.044	0.322 5	0.077	0.419 8	0.110	0.494 0	0.143	0.554 6
0.012	0.171 1	0.045	0.326 0	0.078	0.422 4	0.111	0.496 0	0.144	0.556 3
0.013	0.178 0	0.046	0.329 4	0.079	0.424 8	0.112	0.498 0	0.145	0.558 0
0.014	0.184 6	0.047	0.332 8	0.080	0.427 3	0.113	0.500 0	0.146	0.559 7
0.015	0.191 0	0.048	0.336 2	0.081	0.429 8	0.114	0.502 0	0.147	0.561 3
0.016	0.197 2	0.049	0.339 5	0.082	0.432 2	0.115	0.503 9	0.148	0.563 0
0.017	0.203 1	0.050	0.342 7	0.083	0.434 6	0.116	0.505 9	0.149	0.564 6
0.018	0.208 9	0.051	0.346 0	0.084	0.437 0	0.117	0.507 8	0.150	0.566 2
0.019	0.214 5	0.052	0.349 2	0.085	0.439 4	0.118	0.509 7	0.151	0.567 8
0.020	0.220 0	0.053	0.352 4	0.086	0.441 8	0.119	0.511 7	0.152	0.569 5
0.021	0.225 3	0.054	0.355 5	0.087	0.444 1	0.120	0.513 6	0.153	0.571 1
0.022	0.230 5	0.055	0.358 6	0.088	0.446 5	0.121	0.515 4	0.154	0.572 7
0.023	0.235 6	0.056	0.361 7	0.089	0.448 8	0.122	0.517 3	0.155	0.574 3
0.024	0.240 5	0.057	0.364 7	0.090	0.451 1	0.123	0.519 2	0.156	0.575 8
0.025	0.245 4	0.058	0.367 7	0.091	0.453 4	0.124	0.521 1	0.157	0.577 4
0.026	0.250 1	0.059	0.370 7	0.092	0.455 6	0.125	0.522 9	0.158	0.579 0
0.027	0.254 7	0.060	0.373 6	0.093	0.457 9	0.126	0.524 8	0.159	0.580 5
0.028	0.259 3	0.061	0.376 6	0.094	0.460 1	0.127	0.526 6	0.160	0.582 1
0.029	0.263 7	0.062	0.379 5	0.095	0.462 4	0.128	0.528 4	0.161	0.583 6
0.030	0.268 1	0.063	0.382 3	0.096	0.464 6	0.129	0.530 2	0.162	0.585 2
0.031	0.272 4	0.064	0.385 2	0.097	0.466 8	0.130	0.532 0	0.163	0.586 7
0.032	0.276 6	0.065	0.388 0	0.098	0.468 9	0.131	0.533 8	0.164	0.588 2
0.033	0.280 8	0.066	0.390 8	0.099	0.471 1	0.132	0.535 6	0.165	0.589 8

表 A.1 (续)

$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}
0.166	0.591 3	0.206	0.646 8	0.246	0.694 2	0.286	0.735 4	0.326	0.771 5
0.167	0.592 8	0.207	0.648 1	0.247	0.695 3	0.287	0.736 4	0.327	0.772 3
0.168	0.594 3	0.208	0.649 3	0.248	0.696 4	0.288	0.737 3	0.328	0.773 2
0.169	0.595 8	0.209	0.650 6	0.249	0.697 5	0.289	0.738 3	0.329	0.774 0
0.170	0.597 3	0.210	0.651 9	0.250	0.698 6	0.290	0.739 2	0.330	0.774 8
0.171	0.598 7	0.211	0.653 1	0.251	0.699 7	0.291	0.740 2	0.331	0.775 7
0.172	0.600 2	0.212	0.654 4	0.252	0.700 8	0.292	0.741 1	0.332	0.776 5
0.173	0.601 7	0.213	0.655 6	0.253	0.701 8	0.293	0.742 0	0.333	0.777 3
0.174	0.603 1	0.214	0.656 9	0.254	0.702 9	0.294	0.743 0	0.334	0.778 2
0.175	0.604 6	0.215	0.658 1	0.255	0.704 0	0.295	0.743 9	0.335	0.779 0
0.176	0.606 1	0.216	0.659 3	0.256	0.705 1	0.296	0.744 9	0.336	0.779 8
0.177	0.607 5	0.217	0.660 6	0.257	0.706 1	0.297	0.745 8	0.337	0.780 6
0.178	0.608 9	0.218	0.661 8	0.258	0.707 2	0.298	0.746 7	0.338	0.781 4
0.179	0.610 4	0.219	0.663 0	0.259	0.708 2	0.299	0.747 6	0.339	0.782 3
0.180	0.611 8	0.220	0.664 2	0.260	0.709 3	0.300	0.748 6	0.340	0.783 1
0.181	0.613 2	0.221	0.665 4	0.261	0.710 3	0.301	0.749 5	0.341	0.783 9
0.182	0.614 6	0.222	0.666 6	0.262	0.711 4	0.302	0.750 4	0.342	0.784 7
0.183	0.616 0	0.223	0.667 8	0.263	0.712 4	0.303	0.751 3	0.343	0.785 5
0.184	0.617 4	0.224	0.669 0	0.264	0.713 5	0.304	0.752 2	0.344	0.786 3
0.185	0.618 8	0.225	0.670 2	0.265	0.714 5	0.305	0.753 1	0.345	0.787 1
0.186	0.620 2	0.226	0.671 4	0.266	0.715 5	0.306	0.754 0	0.346	0.787 9
0.187	0.621 6	0.227	0.672 6	0.267	0.716 5	0.307	0.754 9	0.347	0.788 7
0.188	0.623 0	0.228	0.673 8	0.268	0.717 6	0.308	0.755 8	0.348	0.789 5
0.189	0.624 3	0.229	0.674 9	0.269	0.718 6	0.309	0.756 7	0.349	0.790 3
0.190	0.625 7	0.230	0.676 1	0.270	0.719 6	0.310	0.757 6	0.350	0.791 0
0.191	0.627 0	0.231	0.677 3	0.271	0.720 6	0.311	0.758 5	0.351	0.791 8
0.192	0.628 4	0.232	0.678 4	0.272	0.721 6	0.312	0.759 4	0.352	0.792 6
0.193	0.629 8	0.233	0.679 6	0.273	0.722 6	0.313	0.760 2	0.353	0.793 4
0.194	0.631 1	0.234	0.680 7	0.274	0.723 6	0.314	0.761 1	0.354	0.794 2
0.195	0.632 4	0.235	0.681 9	0.275	0.724 6	0.315	0.762 0	0.355	0.795 0
0.196	0.633 8	0.236	0.683 0	0.276	0.725 6	0.316	0.762 9	0.356	0.795 7
0.197	0.635 1	0.237	0.684 2	0.277	0.726 6	0.317	0.763 8	0.357	0.796 5
0.198	0.636 4	0.238	0.685 3	0.278	0.727 6	0.318	0.764 6	0.358	0.797 3
0.199	0.637 7	0.239	0.686 4	0.279	0.728 6	0.319	0.765 5	0.359	0.798 0
0.200	0.639 0	0.240	0.687 6	0.280	0.729 6	0.320	0.766 4	0.360	0.798 8
0.201	0.640 3	0.241	0.688 7	0.281	0.730 5	0.321	0.767 2	0.361	0.799 6
0.202	0.641 6	0.242	0.689 8	0.282	0.731 5	0.322	0.768 1	0.362	0.800 3
0.203	0.642 9	0.243	0.690 9	0.283	0.732 5	0.323	0.768 9	0.363	0.801 1
0.204	0.644 2	0.244	0.692 0	0.284	0.733 5	0.324	0.769 8	0.364	0.801 8
0.205	0.645 5	0.245	0.693 1	0.285	0.734 4	0.325	0.770 6	0.365	0.802 6

表 A.1 (续)

$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}
0.366	0.803 3	0.406	0.831 6	0.446	0.856 7	0.486	0.879 0	0.526	0.898 9
0.367	0.804 1	0.407	0.832 2	0.447	0.857 3	0.487	0.879 6	0.527	0.899 4
0.368	0.804 8	0.408	0.832 9	0.448	0.857 9	0.488	0.880 1	0.528	0.899 9
0.369	0.805 6	0.409	0.833 6	0.449	0.858 5	0.489	0.880 6	0.529	0.900 3
0.370	0.806 3	0.410	0.834 2	0.450	0.859 0	0.490	0.881 1	0.530	0.900 8
0.371	0.807 0	0.411	0.834 9	0.451	0.859 6	0.491	0.881 7	0.531	0.901 3
0.372	0.807 8	0.412	0.835 5	0.452	0.860 2	0.492	0.882 2	0.532	0.901 7
0.373	0.808 5	0.413	0.836 2	0.453	0.860 8	0.493	0.882 7	0.533	0.902 2
0.374	0.809 2	0.414	0.836 8	0.454	0.861 4	0.494	0.883 2	0.534	0.902 6
0.375	0.810 0	0.415	0.837 5	0.455	0.862 0	0.495	0.883 7	0.535	0.903 1
0.376	0.810 7	0.416	0.838 1	0.456	0.862 5	0.496	0.884 2	0.536	0.903 6
0.377	0.811 4	0.417	0.838 8	0.457	0.863 1	0.497	0.884 8	0.537	0.904 0
0.378	0.812 2	0.418	0.839 4	0.458	0.863 7	0.498	0.885 3	0.538	0.904 5
0.379	0.812 9	0.419	0.840 1	0.459	0.864 2	0.499	0.885 8	0.539	0.904 9
0.380	0.813 6	0.420	0.840 7	0.460	0.864 8	0.500	0.886 3	0.540	0.905 4
0.381	0.814 3	0.421	0.841 3	0.461	0.865 4	0.501	0.886 8	0.541	0.905 8
0.382	0.815 0	0.422	0.842 0	0.462	0.865 9	0.502	0.887 3	0.542	0.906 3
0.383	0.815 7	0.423	0.842 6	0.463	0.866 5	0.503	0.887 8	0.543	0.906 7
0.384	0.816 5	0.424	0.843 2	0.464	0.867 1	0.504	0.888 3	0.544	0.907 1
0.385	0.817 2	0.425	0.843 9	0.465	0.867 6	0.505	0.888 8	0.545	0.907 6
0.386	0.817 9	0.426	0.844 5	0.466	0.868 2	0.506	0.889 3	0.546	0.908 0
0.387	0.818 6	0.427	0.845 1	0.467	0.868 8	0.507	0.889 8	0.547	0.908 5
0.388	0.819 3	0.428	0.845 7	0.468	0.869 3	0.508	0.890 3	0.548	0.908 9
0.389	0.820 0	0.429	0.846 4	0.469	0.869 9	0.509	0.890 8	0.549	0.909 4
0.390	0.820 7	0.430	0.847 0	0.470	0.870 4	0.510	0.891 3	0.550	0.909 8
0.391	0.821 4	0.431	0.847 6	0.471	0.871 0	0.511	0.891 8	0.551	0.910 2
0.392	0.822 1	0.432	0.848 2	0.472	0.871 5	0.512	0.892 2	0.552	0.910 7
0.393	0.822 8	0.433	0.848 8	0.473	0.872 1	0.513	0.892 7	0.553	0.911 1
0.394	0.823 4	0.434	0.849 5	0.474	0.872 6	0.514	0.893 2	0.554	0.911 5
0.395	0.824 1	0.435	0.850 1	0.475	0.873 2	0.515	0.893 7	0.555	0.912 0
0.396	0.824 8	0.436	0.850 7	0.476	0.873 7	0.516	0.894 2	0.556	0.912 4
0.397	0.825 5	0.437	0.851 3	0.477	0.874 2	0.517	0.894 7	0.557	0.912 8
0.398	0.826 2	0.438	0.851 9	0.478	0.874 8	0.518	0.895 1	0.558	0.913 2
0.399	0.826 9	0.439	0.852 5	0.479	0.875 3	0.519	0.895 6	0.559	0.913 7
0.400	0.827 5	0.440	0.853 1	0.480	0.875 9	0.520	0.896 1	0.560	0.914 1
0.401	0.828 2	0.441	0.853 7	0.481	0.876 4	0.521	0.896 6	0.561	0.914 5
0.402	0.828 9	0.442	0.854 3	0.482	0.876 9	0.522	0.897 1	0.562	0.914 9
0.403	0.829 6	0.443	0.854 9	0.483	0.877 5	0.523	0.897 5	0.563	0.915 3
0.404	0.830 2	0.444	0.855 5	0.484	0.878 0	0.524	0.898 0	0.564	0.915 8
0.405	0.830 9	0.445	0.856 1	0.485	0.878 5	0.525	0.898 5	0.565	0.916 2

表 A.1 (续)

$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}	$\Delta f/f_p$	k_{33}
0.566	0.916 6	0.573	0.919 5	0.580	0.922 3	0.587	0.925 0	0.594	0.927 7
0.567	0.917 0	0.574	0.919 9	0.581	0.922 7	0.588	0.925 4	0.595	0.928 1
0.568	0.917 4	0.575	0.920 3	0.582	0.923 1	0.589	0.925 8	0.596	0.928 5
0.569	0.917 8	0.576	0.920 7	0.583	0.923 5	0.590	0.926 2	0.597	0.928 9
0.570	0.918 2	0.577	0.921 1	0.584	0.923 9	0.591	0.926 6	0.598	0.929 3
0.571	0.918 7	0.578	0.921 5	0.585	0.924 3	0.592	0.927 0	0.599	0.929 6
0.572	0.919 1	0.579	0.921 9	0.586	0.924 7	0.593	0.927 4	0.600	0.930 0

附 录 B
(规范性附录)

泛音比 f_n/f_{a1} 与 k_1 、 k_{15} 的关系

泛音比 f_n/f_{a1} 与 k_1 、 k_{15} 的对应关系见表 B.1。

表 B.1 f_n/f_{a1} 与 k_1 、 k_{15} 的关系

k_1	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}	k_1	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}
0.000		3.000 0	5.000 0	7.000 0	0.030		3.000 9	5.001 7	7.002 5
0.001		3.000 0	5.000 0	7.000 0	0.031		3.001 0	5.001 8	7.002 6
0.002		3.000 0	5.000 0	7.000 0	0.032		3.001 1	5.001 9	7.002 8
0.003		3.000 0	5.000 0	7.000 0	0.033		3.001 1	5.002 1	7.003 0
0.004		3.000 0	5.000 0	7.000 0	0.034		3.001 2	5.002 2	7.003 2
0.005		3.000 0	5.000 0	7.000 0	0.035		3.001 3	5.002 3	7.003 4
0.006		3.000 0	5.000 0	7.000 1	0.036		3.001 4	5.002 5	7.003 6
0.007		3.000 0	5.000 0	7.000 1	0.037		3.001 4	5.002 6	7.003 8
0.008		3.000 0	5.000 1	7.000 1	0.038		3.001 5	5.002 8	7.004 0
0.009		3.000 0	5.000 1	7.000 2	0.039		3.001 6	5.002 9	7.004 2
0.010		3.000 1	5.000 1	7.000 2	0.040		3.001 7	5.003 1	7.004 4
0.011		3.000 1	5.000 2	7.000 3	0.041		3.001 8	5.003 2	7.004 6
0.012		3.000 1	5.000 2	7.000 4	0.042		3.001 9	5.003 4	7.004 9
0.013		3.000 1	5.000 3	7.000 4	0.043		3.002 0	5.003 6	7.005 1
0.014		3.000 2	5.000 3	7.000 5	0.044		3.002 0	5.003 7	7.005 3
0.015		3.000 2	5.000 4	7.000 6	0.045		3.002 1	5.003 9	7.005 6
0.016		3.000 2	5.000 4	7.000 7	0.046		3.002 2	5.004 1	7.005 8
0.017		3.000 3	5.000 5	7.000 8	0.047		3.002 3	5.004 3	7.006 1
0.018		3.000 3	5.000 6	7.000 9	0.048		3.002 4	5.004 4	7.006 4
0.019		3.000 3	5.000 7	7.001 0	0.049		3.002 6	5.004 6	7.006 6
0.020		3.000 4	5.000 7	7.001 1	0.050		3.002 7	5.004 8	7.006 9
0.021		3.000 4	5.000 8	7.001 2	0.051		3.002 8	5.005 0	7.007 2
0.022		3.000 5	5.000 9	7.001 3	0.052		3.002 9	5.005 2	7.007 5
0.023		3.000 5	5.001 0	7.001 4	0.053		3.003 0	5.005 4	7.007 8
0.024		3.000 6	5.001 1	7.001 6	0.054		3.003 1	5.005 6	7.008 1
0.025		3.000 6	5.001 2	7.001 7	0.055		3.003 2	5.005 8	7.008 4
0.026		3.000 7	5.001 3	7.001 8	0.056		3.003 3	5.006 1	7.008 7
0.027		3.000 7	5.001 4	7.002 0	0.057		3.003 5	5.006 3	7.009 0
0.028		3.000 8	5.001 5	7.002 1	0.058		3.003 6	5.006 5	7.009 3
0.029		3.000 9	5.001 6	7.002 3	0.059		3.003 7	5.006 7	7.009 7

表 B.1 (续)

k_t	k_{15}	f_{s3}/f_{s1}	f_{s5}/f_{s1}	f_{s7}/f_{s1}	k_t	k_{15}	f_{s3}/f_{s1}	f_{s5}/f_{s1}	f_{s7}/f_{s1}
0.060		3.003 9	5.007 0	7.010 0	0.100		3.010 9	5.019 6	7.028 0
0.061		3.004 0	5.007 2	7.010 3	0.101		3.011 1	5.020 0	7.028 5
0.062		3.004 1	5.007 5	7.010 7	0.102		3.011 3	5.020 4	7.029 1
0.063		3.004 3	5.007 7	7.011 0	0.103		3.011 5	5.020 8	7.029 7
0.064		3.004 4	5.007 9	7.011 4	0.104		3.011 7	5.021 2	7.030 3
0.065		3.004 5	5.008 2	7.011 7	0.105		3.012 0	5.021 6	7.030 9
0.066		3.004 7	5.008 5	7.012 1	0.106		3.012 2	5.022 0	7.031 5
0.067		3.004 8	5.008 7	7.012 5	0.107		3.012 4	5.022 4	7.032 1
0.068		3.005 0	5.009 0	7.012 8	0.108		3.012 7	5.022 9	7.032 7
0.069		3.005 1	5.009 2	7.013 2	0.109		3.012 9	5.023 3	7.033 3
0.070		3.005 3	5.009 5	7.013 6	0.110		3.013 2	5.023 7	7.033 9
0.071		3.005 4	5.009 8	7.014 0	0.111		3.013 4	5.024 2	7.034 5
0.072		3.005 6	5.010 1	7.014 4	0.112		3.013 7	5.024 6	7.035 2
0.073		3.005 7	5.010 4	7.014 8	0.113		3.013 9	5.025 1	7.035 8
0.074		3.005 9	5.010 7	7.015 2	0.114		3.014 2	5.025 5	7.036 5
0.075		3.006 1	5.010 9	7.015 7	0.115		3.014 4	5.026 0	7.037 1
0.076		3.006 2	5.011 2	7.016 1	0.116		3.014 7	5.026 4	7.037 8
0.077		3.006 4	5.011 5	7.016 5	0.117		3.014 9	5.026 9	7.038 4
0.078		3.006 6	5.011 8	7.016 9	0.118		3.015 2	5.027 4	7.039 1
0.079		3.006 7	5.012 2	7.017 4	0.119		3.015 4	5.027 8	7.039 8
0.080		3.006 9	5.012 5	7.017 8	0.120		3.015 7	5.028 3	7.040 4
0.081		3.007 1	5.012 8	7.018 3	0.121		3.016 0	5.028 8	7.041 1
0.082		3.007 3	5.013 1	7.018 7	0.122		3.016 2	5.029 3	7.041 8
0.083		3.007 4	5.013 4	7.019 2	0.123		3.016 5	5.029 8	7.042 5
0.084		3.007 6	5.013 8	7.019 7	0.124		3.016 8	5.030 2	7.043 2
0.085		3.007 8	5.014 1	7.020 1	0.125		3.017 1	5.030 7	7.043 9
0.086		3.008 0	5.014 4	7.020 6	0.126		3.017 3	5.031 2	7.044 7
0.087		3.008 2	5.014 8	7.021 1	0.127		3.017 6	5.031 8	7.045 4
0.088		3.008 4	5.015 1	7.021 6	0.128		3.017 9	5.032 3	7.046 1
0.089		3.008 6	5.015 5	7.022 1	0.129		3.018 2	5.032 8	7.046 8
0.090		3.008 8	5.015 8	7.022 6	0.130		3.018 5	5.033 3	7.047 6
0.091		3.009 0	5.016 2	7.023 1	0.131		3.018 8	5.033 8	7.048 3
0.092		3.009 2	5.016 5	7.023 6	0.132		3.019 1	5.034 3	7.049 1
0.093		3.009 4	5.016 9	7.024 2	0.133		3.019 4	5.034 9	7.049 8
0.094		3.009 6	5.017 3	7.024 7	0.134		3.019 7	5.035 4	7.050 6
0.095		3.009 8	5.017 6	7.025 2	0.135		3.020 0	5.035 9	7.051 4
0.096		3.010 0	5.018 0	7.025 8	0.136		3.020 3	5.036 5	7.052 1
0.097		3.010 2	5.018 4	7.026 3	0.137		3.020 6	5.037 0	7.052 9
0.098		3.010 4	5.018 8	7.026 9	0.138		3.020 9	5.037 6	7.053 7
0.099		3.010 6	5.019 2	7.027 4	0.139		3.021 2	5.038 1	7.054 5

表 B.1 (续)

k_1	k_{15}	f_{a2}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}	k_1	k_{15}	f_{a2}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}
0.140		3.021 5	5.038 7	7.055 3	0.180		3.036 0	5.064 7	7.092 4
0.141		3.021 8	5.039 3	7.056 1	0.181		3.036 4	5.065 5	7.093 5
0.142		3.022 1	5.039 8	7.056 9	0.182		3.036 8	5.066 2	7.094 6
0.143		3.022 4	5.040 4	7.057 7	0.183		3.037 2	5.067 0	7.095 6
0.144		3.022 8	5.041 0	7.058 6	0.184		3.037 6	5.067 7	7.096 7
0.145		3.023 1	5.041 6	7.059 4	0.185		3.038 1	5.068 5	7.097 8
0.146		3.023 4	5.042 2	7.060 2	0.186		3.038 5	5.069 2	7.098 9
0.147		3.023 7	5.042 8	7.061 1	0.187		3.038 9	5.070 0	7.100 0
0.148		3.024 1	5.043 3	7.061 9	0.188		3.039 3	5.070 8	7.101 1
0.149		3.024 4	5.043 9	7.062 8	0.189		3.039 8	5.071 6	7.102 2
0.150		3.024 7	5.044 6	7.063 7	0.190		3.040 2	5.072 3	7.103 3
0.151		3.025 1	5.045 2	7.064 5	0.191		3.040 6	5.073 1	7.104 5
0.152		3.025 4	5.045 8	7.065 4	0.192		3.041 1	5.073 9	7.105 6
0.153		3.025 8	5.046 4	7.066 3	0.193		3.041 5	5.074 7	7.106 7
0.154		3.026 1	5.047 0	7.067 2	0.194		3.042 0	5.075 5	7.107 9
0.155		3.026 5	5.047 6	7.068 1	0.195		3.042 4	5.076 3	7.109 0
0.156		3.026 8	5.048 3	7.069 0	0.196		3.042 9	5.077 1	7.110 2
0.157		3.027 2	5.048 9	7.069 9	0.197		3.043 3	5.078 0	7.111 3
0.158		3.027 5	5.049 5	7.070 8	0.198		3.043 8	5.078 8	7.112 5
0.159		3.027 9	5.050 2	7.071 7	0.199		3.044 3	5.079 6	7.113 7
0.160		3.028 2	5.050 8	7.072 6	0.200		3.044 7	5.080 4	7.114 9
0.161		3.028 6	5.051 5	7.073 6	0.201		3.045 2	5.081 3	7.116 1
0.162		3.029 0	5.052 1	7.074 5	0.202		3.045 6	5.082 1	7.117 3
0.163		3.029 3	5.052 8	7.075 4	0.203		3.046 1	5.082 9	7.118 5
0.164		3.029 7	5.053 5	7.076 4	0.204		3.046 6	5.083 8	7.119 7
0.165		3.030 1	5.054 1	7.077 3	0.205		3.047 1	5.084 6	7.120 9
0.166		3.030 5	5.054 8	7.078 3	0.206		3.047 5	5.085 5	7.122 1
0.167		3.030 8	5.055 5	7.079 3	0.207		3.048 0	5.086 4	7.123 4
0.168		3.031 2	5.056 2	7.080 2	0.208		3.048 5	5.087 2	7.124 6
0.169		3.031 6	5.056 9	7.081 2	0.209		3.049 0	5.088 1	7.125 9
0.170		3.032 0	5.057 5	7.082 2	0.210		3.049 5	5.089 0	7.127 1
0.171		3.032 4	5.058 2	7.083 2	0.211		3.050 0	5.089 9	7.128 4
0.172		3.032 8	5.058 9	7.084 2	0.212		3.050 5	5.090 0	7.129 6
0.173		3.033 1	5.059 7	7.085 2	0.213		3.051 0	5.091 7	7.130 9
0.174		3.033 5	5.060 4	7.086 2	0.214		3.051 5	5.092 5	7.132 2
0.175		3.033 9	5.061 1	7.087 3	0.215		3.052 0	5.093 5	7.133 5
0.176		3.034 3	5.061 8	7.088 3	0.216		3.052 5	5.094 4	7.134 8
0.177		3.034 7	5.062 5	7.089 3	0.217		3.053 0	5.095 3	7.136 1
0.178		3.035 1	5.063 2	7.090 4	0.218		3.053 5	5.096 2	7.137 4
0.179		3.035 6	5.064 0	7.091 4	0.219		3.054 0	5.097 1	7.138 7

表 B.1 (续)

k_t	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a6}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}	k_t	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a6}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}
0.220		3.054 5	5.098 0	7.140 0	0.260		3.077 5	5.139 3	7.198 8
0.221		3.055 0	5.099 0	7.141 3	0.261		3.078 1	5.140 4	7.200 5
0.222		3.055 6	5.099 9	7.142 7	0.262		3.078 8	5.141 5	7.202 1
0.223		3.056 1	5.100 8	7.144 0	0.263		3.079 4	5.142 7	7.203 7
0.224		3.056 6	5.101 8	7.145 4	0.264		3.080 1	5.143 8	7.205 4
0.225		3.057 1	5.102 7	7.146 7	0.265		3.080 7	5.145 0	7.207 0
0.226		3.057 7	5.103 7	7.148 1	0.266		3.081 3	5.146 2	7.208 7
0.227		3.058 2	5.104 7	7.149 5	0.267		3.082 0	5.147 3	7.210 4
0.228		3.058 7	5.105 6	7.150 9	0.268		3.082 7	5.148 5	7.212 1
0.229		3.059 3	5.106 6	7.152 2	0.269		3.083 3	5.149 7	7.213 7
0.230		3.059 8	5.107 6	7.153 6	0.270		3.084 0	5.150 9	7.215 4
0.231		3.060 4	5.108 6	7.155 0	0.271		3.084 6	5.152 1	7.217 1
0.232		3.060 9	5.109 5	7.156 4	0.272		3.085 3	5.153 3	7.218 8
0.233		3.061 6	5.110 5	7.157 9	0.273		3.086 0	5.154 5	7.220 6
0.234		3.062 0	5.111 5	7.159 3	0.274		3.086 7	5.155 7	7.222 3
0.235		3.062 6	5.112 5	7.160 7	0.275		3.087 3	5.156 9	7.224 0
0.236		3.063 2	5.113 5	7.162 1	0.276		3.088 0	5.158 1	7.225 8
0.237		3.063 7	5.114 5	7.163 6	0.277		3.088 7	5.159 3	7.227 5
0.238		3.064 3	5.115 6	7.165 0	0.278		3.089 4	5.160 6	7.229 3
0.239		3.064 9	5.116 6	7.166 5	0.279		3.090 1	5.161 8	7.231 0
0.240		3.065 4	5.117 6	7.168 0	0.280		3.090 8	5.163 1	7.232 8
0.241		3.066 0	5.118 6	7.169 4	0.281		3.091 5	5.164 3	7.234 6
0.242		3.066 6	5.119 7	7.170 9	0.282		3.092 2	5.165 6	7.236 4
0.243		3.067 2	5.120 7	7.172 4	0.283		3.092 9	5.166 8	7.238 2
0.244		3.067 7	5.121 8	7.173 9	0.284		3.093 6	5.168 1	7.240 0
0.245		3.068 3	5.122 8	7.175 4	0.285		3.094 3	5.169 4	7.241 8
0.246		3.068 9	5.123 9	7.176 9	0.286		3.095 0	5.170 6	7.243 6
0.247		3.069 5	5.124 9	7.178 4	0.287		3.095 7	5.171 9	7.245 5
0.248		3.070 1	5.126 0	7.180 0	0.288		3.096 4	5.173 2	7.247 3
0.249		3.070 7	5.127 1	7.181 5	0.289		3.097 2	5.174 5	7.249 1
0.250		3.071 3	5.128 2	7.183 0	0.290		3.097 9	5.175 8	7.251 0
0.251		3.071 9	5.129 3	7.184 6	0.291		3.098 6	5.177 1	7.252 9
0.252		3.072 5	5.130 3	7.186 1	0.292		3.099 4	5.178 4	7.254 7
0.253		3.073 1	5.131 4	7.187 7	0.293		3.100 1	5.179 7	7.256 6
0.254		3.073 7	5.132 5	7.189 3	0.294		3.100 8	5.181 1	7.258 5
0.255		3.074 4	5.133 6	7.190 8	0.295		3.101 6	5.182 4	7.260 4
0.256		3.075 0	5.134 8	7.192 4	0.296		3.102 3	5.183 7	7.262 3
0.257		3.075 6	5.135 9	7.194 0	0.297		3.103 1	5.185 1	7.264 2
0.258		3.076 2	5.137 0	7.195 6	0.298		3.103 8	5.186 4	7.266 2
0.259		3.076 9	5.138 1	7.197 2	0.299		3.104 6	5.187 8	7.268 1

表 B.1 (续)

k_1	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}	k_1	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}
0.300		3.105 3	5.189 1	7.270 0	0.340		3.138 6	5.248 7	7.354 9
0.301		3.106 1	5.190 5	7.272 0	0.341		3.139 5	5.250 3	7.357 3
0.302		3.106 9	5.191 9	7.273 9	0.342		3.140 4	5.251 9	7.359 6
0.303		3.107 6	5.193 3	7.275 9	0.343		3.141 3	5.253 6	7.361 9
0.304		3.108 4	5.194 6	7.277 9	0.344		3.142 3	5.255 2	7.364 3
0.305		3.109 2	5.196 0	7.279 9	0.345		3.143 2	5.256 9	7.366 6
0.306		3.110 0	5.197 4	7.281 9	0.346		3.144 1	5.258 5	7.369 0
0.307		3.110 7	5.198 8	7.283 9	0.347		3.145 0	5.260 2	7.371 3
0.308		3.111 5	5.200 2	7.285 9	0.348		3.146 0	5.261 8	7.373 7
0.309		3.112 3	5.201 7	7.287 9	0.349		3.146 9	5.263 5	7.376 1
0.310		3.113 1	5.203 1	7.289 9	0.350		3.147 8	5.265 2	7.378 5
0.311		3.113 9	5.204 5	7.291 9	0.351		3.148 8	5.266 9	7.380 9
0.312		3.114 7	5.205 9	7.294 0	0.352		3.149 7	5.268 6	7.383 3
0.313		3.115 5	5.207 4	7.296 0	0.353		3.150 7	5.270 3	7.385 8
0.314		3.116 3	5.208 8	7.298 1	0.354		3.151 7	5.272 0	7.388 2
0.315		3.117 1	5.210 3	7.300 2	0.355		3.152 6	5.273 7	7.390 7
0.316		3.118 0	5.211 7	7.302 3	0.356		3.153 6	5.275 5	7.393 1
0.317		3.118 8	5.213 2	7.304 3	0.357		3.154 6	5.277 2	7.395 6
0.318		3.119 6	5.214 7	7.306 4	0.358		3.155 5	5.278 9	7.398 1
0.319		3.120 4	5.216 1	7.308 6	0.359		3.156 5	5.280 7	7.400 6
0.320		3.121 2	5.217 6	7.310 7	0.360		3.157 5	5.282 4	7.403 1
0.321		3.122 1	5.219 1	7.312 8	0.361		3.158 5	5.284 2	7.405 6
0.322		3.122 9	5.220 6	7.314 9	0.362		3.159 5	5.286 0	7.408 1
0.323		3.123 8	5.222 1	7.317 1	0.363		3.160 5	5.287 7	7.410 7
0.324		3.124 6	5.223 6	7.319 2	0.364		3.161 5	5.289 5	7.413 2
0.325		3.125 4	5.225 1	7.321 4	0.365		3.162 5	5.291 3	7.415 8
0.326		3.126 3	5.226 7	7.323 6	0.366		3.163 5	5.293 1	7.418 3
0.327		3.127 2	5.228 2	7.325 7	0.367		3.164 5	5.294 9	7.420 9
0.328		3.128 0	5.229 7	7.327 9	0.368		3.165 5	5.296 7	7.426 5
0.329		3.128 9	5.231 3	7.330 1	0.369		3.166 5	5.298 6	7.426 1
0.330		3.129 7	5.232 8	7.332 3	0.370		3.167 5	5.300 4	7.428 7
0.331		3.130 6	5.234 4	7.334 6	0.371		3.168 6	5.302 2	7.431 3
0.332		3.131 5	5.235 9	7.336 8	0.372		3.169 6	5.304 1	7.433 9
0.333		3.132 4	5.237 5	7.339 0	0.373		3.170 6	5.305 9	7.436 6
0.334		3.133 2	5.239 1	7.341 3	0.374		3.171 7	5.307 8	7.439 2
0.335		3.134 1	5.240 7	7.343 5	0.375		3.172 7	5.309 7	7.441 9
0.336		3.135 0	5.242 3	7.345 8	0.376		3.173 8	5.311 5	7.444 6
0.337		3.135 9	5.243 8	7.348 1	0.377		3.174 8	5.313 4	7.447 2
0.338		3.136 8	5.245 5	7.350 3	0.378		3.175 9	5.315 3	7.449 9
0.339		3.137 7	5.247 1	7.352 6	0.379		3.176 9	5.317 2	7.452 6

表 B.1 (续)

k_1	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}	k_1	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}
0.380		3.178 0	5.319 1	7.455 4	0.420		3.224 5	5.402 0	7.573 5
0.381		3.179 1	5.321 0	7.458 1	0.421		3.225 8	5.404 3	7.576 7
0.382		3.180 2	5.322 9	7.460 8	0.422		3.227 0	5.406 5	7.580 0
0.383		3.181 2	5.324 9	7.463 6	0.423		3.228 9	5.408 8	7.583 2
0.384		3.182 3	5.326 8	7.466 3	0.424		3.229 6	5.411 1	7.586 4
0.385		3.183 4	5.328 7	7.469 1	0.425		3.230 9	5.413 4	7.589 7
0.386		3.184 5	5.330 7	7.471 9	0.426		3.232 2	5.415 7	7.593 0
0.387		3.185 6	5.332 7	7.474 7	0.427		3.233 4	5.418 0	7.596 2
0.388		3.186 7	5.334 6	7.477 5	0.428		3.234 7	5.420 3	7.599 5
0.389		3.187 8	5.336 6	7.480 3	0.429		3.236 0	5.422 6	7.602 8
0.390		3.188 9	5.338 6	7.483 1	0.430		3.237 4	5.424 9	7.606 2
0.391		3.190 0	5.340 6	7.486 0	0.431		3.238 7	5.427 3	7.609 5
0.392		3.191 2	5.342 6	7.488 8	0.432		3.240 0	5.429 6	7.612 9
0.393		3.192 3	5.344 6	7.491 7	0.433		3.241 3	5.432 0	7.616 2
0.394		3.193 4	5.346 6	7.494 6	0.434		3.242 7	5.434 4	7.619 6
0.395		3.194 6	5.348 6	7.497 4	0.435		3.244 0	5.436 7	7.623 0
0.396		3.195 7	5.350 7	7.500 3	0.436		3.245 3	5.439 1	7.626 4
0.397		3.196 8	5.352 7	7.503 3	0.437		3.246 7	5.441 5	7.629 8
0.398		3.198 0	5.354 8	7.506 2	0.438		3.248 0	5.443 9	7.633 2
0.399		3.199 1	5.356 8	7.509 1	0.439		3.249 4	5.446 4	7.636 7
0.400		3.200 3	5.358 9	7.512 1	0.440		3.250 8	5.448 8	7.640 2
0.401		3.201 5	5.361 0	7.515 0	0.441		3.252 1	5.451 2	7.643 6
0.402		3.202 6	5.363 0	7.518 0	0.442		3.253 5	5.453 7	7.647 1
0.403		3.203 8	5.365 1	7.521 0	0.443		3.254 9	5.456 1	7.650 6
0.404		3.205 0	5.367 2	7.524 0	0.444		3.256 3	5.458 6	7.654 1
0.405		3.206 2	5.369 3	7.527 0	0.445		3.257 7	5.461 1	7.657 7
0.406		3.207 4	5.371 5	7.530 0	0.446		3.259 1	5.463 6	7.661 2
0.407		3.208 6	5.373 6	7.533 0	0.447		3.260 5	5.466 1	7.664 8
0.408		3.209 7	5.375 7	7.536 1	0.448		3.261 9	5.468 6	7.668 3
0.409		3.211 0	5.377 9	7.539 1	0.449		3.263 3	5.471 1	7.671 9
0.410		3.212 2	5.380 0	7.542 2	0.450		3.264 7	5.473 6	7.675 5
0.411		3.213 4	5.382 2	7.545 3	0.451		3.266 1	5.476 2	7.679 1
0.412		3.214 6	5.384 4	7.548 3	0.452		3.267 6	5.478 7	7.682 8
0.413		3.215 8	5.386 5	7.551 4	0.453		3.269 0	5.481 3	7.686 4
0.414		3.217 0	5.388 7	7.554 6	0.454		3.270 4	5.483 9	7.690 1
0.415		3.218 3	5.390 9	7.557 7	0.455		3.271 9	5.486 4	7.693 8
0.416		3.219 5	5.393 1	7.560 8	0.456		3.273 4	5.489 0	7.697 5
0.417		3.220 7	5.395 3	7.564 0	0.457		3.274 8	5.491 6	7.701 2
0.418		3.222 0	5.397 6	7.567 2	0.458		3.276 3	5.494 2	7.704 9
0.419		3.223 2	5.399 8	7.570 3	0.459		3.277 8	5.496 9	7.708 6

表 B.1 (续)

k_t	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}	k_t	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}
0.460		3.279 2	5.499 5	7.712 4	0.500		3.343 8	5.614 2	7.875 6
0.461		3.280 7	5.502 1	7.716 1	0.501		3.345 5	5.617 3	7.880 1
0.462		3.282 2	5.504 8	7.719 9	0.502		3.347 3	5.620 4	7.884 5
0.463		3.283 7	5.507 5	7.723 7	0.503		3.349 1	5.623 6	7.889 0
0.464		3.285 2	5.510 1	7.727 5	0.504		3.350 8	5.626 7	7.893 5
0.465		3.286 7	5.512 8	7.731 4	0.505		3.352 6	5.629 9	7.898 0
0.466		3.288 3	5.515 5	7.735 2	0.506		3.354 4	5.633 1	7.902 5
0.467		3.289 8	5.518 2	7.739 1	0.507		3.356 2	5.636 3	7.907 1
0.468		3.291 3	5.521 0	7.742 9	0.508		3.358 0	5.639 5	7.911 6
0.469		3.292 8	5.523 7	7.746 8	0.509		3.359 8	5.642 7	7.916 2
0.470		3.294 4	5.526 4	7.750 7	0.510		3.361 7	5.645 9	7.920 8
0.471		3.295 9	5.529 2	7.754 6	0.511		3.363 5	5.649 2	7.925 4
0.472		3.297 5	5.532 0	7.758 6	0.512		3.365 3	5.652 4	7.930 1
0.473		3.299 1	5.534 7	7.762 5	0.513		3.367 2	5.655 7	7.934 7
0.474		3.300 6	5.537 5	7.766 5	0.514		3.369 0	5.659 0	7.939 4
0.475		3.302 2	5.540 3	7.770 5	0.515		3.370 9	5.662 3	7.944 1
0.476		3.303 8	5.543 1	7.774 5	0.516		3.372 8	5.665 6	7.948 8
0.477		3.305 4	5.546 0	7.778 5	0.517		3.374 6	5.669 0	7.953 6
0.478		3.307 0	5.548 8	7.782 6	0.518		3.376 5	5.672 3	7.958 3
0.479		3.308 6	5.551 6	7.786 6	0.519		3.378 4	5.675 7	7.963 1
0.480		3.310 2	5.554 5	7.790 7	0.520		3.380 3	5.679 0	7.967 9
0.481		3.311 8	5.557 4	7.794 8	0.521		3.382 2	5.682 4	7.972 7
0.482		3.313 4	5.560 2	7.798 9	0.522		3.384 1	5.685 8	7.977 6
0.483		3.315 0	5.563 1	7.803 0	0.523		3.386 1	5.689 2	7.982 4
0.484		3.316 7	5.566 0	7.807 1	0.524		3.388 0	5.692 7	7.987 3
0.485		3.318 3	5.569 0	7.811 3	0.525		3.390 0	5.696 1	7.992 2
0.486		3.320 0	5.571 9	7.815 4	0.526		3.391 9	5.699 6	7.997 2
0.487		3.321 6	5.574 8	7.819 6	0.527		3.393 9	5.703 1	8.002 1
0.488		3.323 3	5.577 8	7.823 8	0.528		3.395 8	5.706 5	8.007 1
0.489		3.324 9	5.580 8	7.828 0	0.529		3.397 8	5.710 0	8.012 0
0.490		3.326 6	5.583 7	7.832 3	0.530		3.399 8	5.713 6	8.017 1
0.491		3.328 3	5.586 7	7.836 5	0.531		3.401 8	5.717 1	8.022 1
0.492		3.330 0	5.589 7	7.840 8	0.532		3.403 8	5.720 7	8.027 1
0.493		3.331 7	5.592 7	7.845 1	0.533		3.405 8	5.724 2	8.032 2
0.494		3.333 4	5.595 8	7.849 4	0.534		3.407 8	5.727 8	8.037 3
0.495		3.335 1	5.598 8	7.853 8	0.535		3.409 9	5.731 4	8.042 4
0.496		3.336 8	5.601 9	7.862 4	0.536		3.411 9	5.735 0	8.047 5
0.497		3.338 6	5.604 9	7.866 8	0.537		3.413 9	5.738 6	8.052 7
0.498		3.340 3	5.608 0	7.871 2	0.538		3.416 0	5.742 3	8.057 9
0.499		3.342 0	5.611 1	7.875 6	0.539		3.418 1	5.745 9	8.063 1

表 B.1 (续)

k_t	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}	k_t	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}
0.540		3.420 1	5.749 6	8.068 3	0.580		3.511 0	5.910 4	8.297 0
0.541		3.422 2	5.753 3	8.073 6	0.581		3.513 5	5.914 8	8.303 3
0.542		3.424 3	5.757 0	8.078 8	0.582		3.516 0	5.919 3	8.309 6
0.543		3.426 4	5.760 7	8.084 1	0.583		3.518 5	5.923 7	8.315 9
0.544		3.428 5	5.764 4	8.089 4	0.584		3.521 0	5.928 0	8.322 2
0.545		3.430 6	5.768 2	8.094 8	0.585		3.523 6	5.932 6	8.328 6
0.546		3.432 8	5.772 0	8.100 1	0.586		3.526 1	5.937 1	8.335 0
0.547		3.434 9	5.775 8	8.105 5	0.587		3.528 7	5.941 7	8.341 4
0.548		3.437 0	5.779 6	8.110 9	0.588		3.531 3	5.946 2	8.347 8
0.549		3.439 2	5.783 4	8.116 3	0.589		3.533 8	5.950 8	8.354 3
0.550		3.441 4	5.787 2	8.121 8	0.590		3.536 4	5.955 3	8.360 8
0.551		3.443 5	5.791 1	8.127 3	0.591		3.539 0	5.959 9	8.367 4
0.552		3.445 7	5.794 9	8.132 8	0.592		3.541 7	5.964 6	8.374 0
0.553		3.447 9	5.798 8	8.138 3	0.593		3.544 3	5.969 2	8.380 6
0.554		3.450 1	5.802 7	8.143 9	0.594		3.546 9	5.973 9	8.387 2
0.555		3.452 3	5.806 6	8.149 4	0.595		3.549 6	5.978 6	8.393 9
0.556		3.454 6	5.810 6	8.155 0	0.596		3.552 2	5.983 3	8.400 5
0.557		3.456 8	5.814 5	8.160 6	0.597		3.554 9	5.988 0	8.407 3
0.558		3.459 0	5.818 5	8.166 3	0.598		3.557 6	5.992 8	8.414 0
0.559		3.461 3	5.822 5	8.172 0	0.599		3.560 3	5.997 5	8.420 8
0.560		3.463 6	5.826 5	8.177 7	0.600		3.563 0	6.002 3	8.427 6
0.561		3.465 8	5.830 5	8.183 4	0.601		3.565 8	6.007 2	8.434 5
0.562		3.468 1	5.834 6	8.189 1	0.602		3.568 5	6.012 0	8.441 4
0.563		3.470 4	5.838 6	8.194 9	0.603		3.571 3	6.016 9	8.448 3
0.564		3.472 4	5.842 7	8.200 7	0.604		3.574 0	6.021 7	8.455 2
0.565		3.475 0	5.846 8	8.206 5	0.605		3.576 8	6.026 7	8.462 2
0.566		3.477 3	5.850 9	8.212 4	0.606		3.579 6	6.031 6	8.469 2
0.567		3.479 7	5.855 0	8.218 2	0.607		3.582 4	6.036 6	8.476 3
0.568		3.482 0	5.859 2	8.224 1	0.608		3.585 2	6.041 5	8.483 3
0.569		3.484 4	5.863 3	8.230 1	0.609		3.588 1	6.046 5	8.490 5
0.570		3.486 8	5.867 5	8.236 0	0.610		3.590 9	6.051 6	8.497 6
0.571		3.489 1	5.871 7	8.242 0	0.611		3.593 8	6.056 6	8.504 8
0.572		3.491 5	5.876 0	8.248 0	0.612		3.596 7	6.061 7	8.512 0
0.573		3.493 9	5.880 2	8.254 0	0.613		3.599 6	6.066 8	8.519 2
0.574		3.496 3	5.884 5	8.260 1	0.614		3.602 5	6.071 9	8.526 5
0.575		3.498 7	5.888 7	8.266 2	0.615		3.605 4	6.077 1	8.533 8
0.576		3.501 2	5.893 0	8.272 3	0.616		3.608 3	6.082 2	8.541 2
0.577		3.503 6	5.897 4	8.278 4	0.617		3.611 3	6.087 4	8.548 6
0.578		3.506 1	5.901 7	8.284 6	0.618		3.614 2	6.092 7	8.556 0
0.579		3.508 5	5.906 1	8.290 8	0.619		3.617 2	6.097 9	8.563 4

表 B.1 (续)

k_1	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}	k_1	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}
0.620		3.620 2	6.103 2	8.570 9	0.660		3.752 9	6.336 9	8.902 9
0.621		3.623 2	6.108 5	8.578 5	0.661		3.756 6	6.343 4	8.912 1
0.622		3.626 2	6.113 8	8.586 0	0.662		3.760 3	6.349 9	8.921 4
0.623		3.629 3	6.119 2	8.593 6	0.663		3.764 0	6.356 5	8.930 6
0.624		3.632 3	6.124 5	8.601 3	0.664		3.767 8	6.363 0	8.940 0
0.625		3.635 4	6.129 9	8.608 9	0.665		3.771 5	6.369 6	8.949 4
0.626		3.638 5	6.135 4	8.616 7	0.666		3.775 3	6.376 3	8.958 8
0.627		3.641 5	6.140 8	8.624 4	0.667		3.779 1	6.383 0	8.968 3
0.628		3.644 7	6.146 3	8.632 2	0.668		3.782 9	6.389 7	8.977 8
0.629		3.647 8	6.151 8	8.640 0	0.669		3.786 8	6.396 4	8.987 4
0.630		3.650 9	6.157 3	8.647 9	0.670		3.790 6	6.403 2	8.997 0
0.631		3.654 1	6.162 9	8.655 8	0.671		3.794 5	6.410 0	9.006 7
0.632		3.657 3	6.168 5	8.663 7	0.672		3.798 4	6.416 9	9.016 5
0.633		3.660 4	6.174 1	8.671 7	0.673		3.802 3	6.423 8	9.026 2
0.634		3.663 6	6.179 8	8.679 7	0.674		3.806 3	6.430 7	9.036 1
0.635		3.666 9	6.185 4	8.687 8	0.675		3.810 2	6.437 7	9.046 0
0.636		3.670 1	6.191 1	8.695 9	0.676		3.814 2	6.444 7	9.055 9
0.637		3.673 4	6.196 9	8.704 0	0.677		3.818 2	6.451 8	9.065 9
0.638		3.676 6	6.202 6	8.712 2	0.678		3.822 3	6.458 9	9.076 0
0.639		3.679 9	6.208 4	8.720 4	0.679		3.826 3	6.466 0	9.086 1
0.640		3.683 2	6.214 2	8.728 7	0.680		3.830 4	6.473 1	9.096 3
0.641		3.686 5	6.220 1	8.737 0	0.681		3.834 5	6.480 3	9.106 5
0.642		3.689 9	6.225 9	8.745 3	0.682		3.838 6	6.487 6	9.116 8
0.643		3.693 2	6.231 8	8.753 4	0.683		3.842 8	6.494 9	9.127 1
0.644		3.696 6	6.237 8	8.762 1	0.684		3.846 9	6.502 2	9.137 5
0.645		3.700 0	6.243 7	8.779 1	0.685		3.851 1	6.509 5	9.147 9
0.646		3.703 4	6.249 7	8.770 6	0.686		3.855 4	6.516 9	9.158 4
0.647		3.706 8	6.255 8	8.787 7	0.687		3.859 6	6.524 4	9.169 0
0.648		3.710 2	6.261 8	8.796 3	0.688		3.863 9	6.531 9	9.179 6
0.649		3.713 7	6.267 9	8.804 9	0.689		3.868 1	6.539 4	9.190 3
0.650		3.717 2	6.274 0	8.813 6	0.690		3.872 5	6.547 0	9.201 1
0.651		3.720 7	6.280 2	8.822 3	0.691		3.876 8	6.554 6	9.211 9
0.652		3.724 2	6.286 3	8.831 1	0.692		3.881 1	6.562 2	9.222 7
0.653		3.727 7	6.292 6	8.839 9	0.693		3.885 5	6.569 9	9.233 6
0.654		3.731 3	6.298 8	8.848 8	0.694		3.889 9	6.577 7	9.244 6
0.655		3.734 8	6.305 1	8.857 7	0.695		3.894 4	6.585 5	9.255 7
0.656		3.738 4	6.311 4	8.866 6	0.696		3.898 8	6.593 3	9.266 8
0.657		3.742 0	6.317 7	8.875 6	0.697		3.903 3	6.601 2	9.277 9
0.658		3.745 6	6.324 1	8.884 7	0.698		3.907 8	6.609 1	9.289 2
0.659		3.749 3	6.330 5	8.893 8	0.699		3.912 4	6.617 0	9.300 5

表 B.1 (续)

k_1	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a6}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}	k_1	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a6}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}
0.700	3.916 9	6.625 1	9.311 8		0.740	4.124 0	6.987 9	9.826 5	
0.701	3.921 5	6.633 1	9.323 3		0.741	4.129 9	6.998 2	9.841 1	
0.702	3.926 2	6.641 2	9.334 8		0.742	4.135 8	7.008 5	9.855 7	
0.703	3.930 8	6.649 4	9.346 3		0.743	4.141 8	7.018 9	9.870 5	
0.704	3.935 5	6.657 6	9.358 0		0.744	4.147 8	7.029 4	9.885 4	
0.705	3.940 2	6.665 8	9.369 7		0.745	4.153 8	7.040 0	9.900 3	
0.706	3.944 9	6.674 1	9.381 4		0.746	4.159 9	7.050 6	9.915 4	
0.707	3.949 7	6.682 4	9.393 2		0.747	4.166 0	7.061 3	9.930 5	
0.708	3.954 4	6.690 8	9.405 2		0.748	4.172 1	7.072 0	9.945 8	
0.709	3.959 3	6.699 3	9.417 1		0.749	4.178 3	7.082 9	9.961 1	
0.710	3.964 1	6.707 7	9.429 2		0.750	4.184 6	7.093 8	9.976 6	
0.711	3.969 0	6.716 3	9.441 3		0.751	4.190 8	7.104 7	9.992 1	
0.712	3.973 9	6.724 9	9.453 5		0.752	4.197 2	7.115 8	10.007 8	
0.713	3.978 8	6.733 5	9.465 7		0.753	4.203 5	7.126 9	10.023 6	
0.714	3.983 7	6.742 2	9.478 0		0.754	4.209 9	7.138 1	10.039 4	
0.715	3.988 7	6.751 0	9.490 4		0.755	4.216 4	7.149 4	10.055 4	
0.716	3.993 8	6.759 7	9.502 9		0.756	4.222 9	7.160 7	10.071 5	
0.717	3.998 8	6.768 6	9.515 5		0.757	4.229 4	7.172 2	10.087 7	
0.718	4.003 9	6.777 5	9.528 1		0.758	4.236 0	7.183 7	10.104 0	
0.719	4.009 0	6.786 5	9.540 8		0.759	4.242 6	7.195 3	10.120 5	
0.720	4.014 1	6.795 5	9.553 6		0.760	4.249 3	7.206 9	10.137 0	
0.721	4.019 3	6.804 5	9.566 4		0.761	4.256 0	7.218 7	10.153 6	
0.722	4.024 5	6.813 7	9.579 4		0.762	4.262 8	7.230 5	10.170 4	
0.723	4.029 8	6.822 8	9.592 4		0.763	4.269 6	7.242 4	10.187 3	
0.724	4.035 0	6.832 1	9.605 5		0.764	4.276 5	7.254 4	10.204 3	
0.725	4.040 3	6.841 4	9.618 7		0.765	4.283 4	7.266 5	10.221 4	
0.726	4.045 7	6.850 7	9.631 9		0.766	4.290 4	7.278 7	10.238 7	
0.727	4.051 0	6.860 1	9.645 3		0.767	4.297 4	7.290 9	10.256 0	
0.728	4.056 4	6.869 6	9.658 7		0.768	4.304 4	7.303 3	10.273 5	
0.729	4.061 9	6.879 1	9.672 2		0.769	4.311 6	7.315 7	10.291 1	
0.730	4.067 4	6.888 7	9.685 8		0.770	4.318 7	7.328 2	10.308 9	
0.731	4.072 9	6.898 3	9.699 5		0.771	4.325 9	7.340 8	10.326 7	
0.732	4.078 4	6.908 0	9.713 2		0.772	4.333 2	7.353 5	10.344 7	
0.733	4.084 0	6.917 8	9.727 1		0.773	4.340 3	7.366 3	10.362 9	
0.734	4.089 6	6.927 6	9.741 0		0.774	4.347 9	7.379 2	10.381 1	
0.735	4.095 2	6.937 5	9.755 0		0.775	4.355 4	7.392 2	10.399 5	
0.736	4.100 9	6.947 5	9.769 1		0.776	4.362 8	7.405 3	10.418 0	
0.737	4.106 7	6.957 5	9.783 3		0.777	4.370 4	7.418 4	10.436 7	
0.738	4.112 4	6.967 6	9.797 6		0.778	4.378 0	7.431 7	10.455 5	
0.739	4.118 2	6.977 7	9.812 0		0.779	4.385 7	7.445 1	10.474 5	

表 B.1 (续)

k_1	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}	k_1	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}
0.780	4.393 4	7.458 5	10.493 5		0.820		4.758 4	8.094 7	11.394 6
0.781	4.401 1	7.472 1	10.512 8		0.821		4.769 2	8.113 5	11.421 2
0.782	4.409 0	7.485 8	10.532 1		0.822		4.780 1	8.132 5	11.448 1
0.783	4.416 9	7.499 5	10.551 6		0.823		4.791 1	8.151 6	11.475 2
0.784	4.424 8	7.513 4	10.571 3		0.824		4.802 3	8.171 0	11.502 6
0.785	4.432 8	7.527 4	10.591 1		0.825		4.813 5	8.190 5	11.530 2
0.786	4.440 9	7.541 5	10.611 1		0.826		4.824 8	8.210 2	11.558 1
0.787	4.449 1	7.555 7	10.631 2		0.827		4.836 2	8.230 0	11.586 2
0.788	4.457 3	7.570 0	10.651 5		0.828		4.847 7	8.250 1	11.614 6
0.789	4.465 5	7.584 4	10.671 9		0.829		4.859 4	8.270 3	11.643 2
0.790	4.473 9	7.599 0	10.692 5		0.830		4.871 1	8.290 8	11.672 2
0.791	4.482 3	7.613 6	10.713 2		0.831		4.883 0	8.311 4	11.701 4
0.792	4.490 7	7.628 4	10.734 1		0.832		4.895 0	8.332 2	11.730 8
0.793	4.499 3	7.643 2	10.755 2		0.833		4.907 0	8.353 2	11.760 6
0.794	4.507 9	7.658 2	10.776 4		0.834		4.919 3	8.374 5	11.790 6
0.795	4.516 5	7.673 3	10.797 8		0.835		4.931 6	8.395 9	11.821 0
0.796	4.525 3	7.688 6	10.819 4		0.836		4.944 0	8.417 5	11.851 6
0.797	4.534 1	7.703 9	10.841 2		0.837		4.956 6	8.439 4	11.882 5
0.798	4.542 9	7.719 4	10.863 1		0.838		4.969 3	8.464 5	11.913 8
0.799	4.551 9	7.735 0	10.885 2		0.839		4.982 1	8.483 7	11.945 3
0.800	4.560 9	7.750 7	10.907 5		0.840		4.995 1	8.506 2	11.977 2
0.801	4.570 0	7.766 6	10.929 9		0.841		5.008 1	8.529 0	12.009 3
0.802	4.579 2	7.782 6	10.952 6		0.842		5.021 4	8.551 9	12.041 8
0.803	4.588 5	7.798 7	10.975 4		0.843		5.034 7	8.575 1	12.074 7
0.804	4.597 8	7.815 0	10.998 4		0.844		5.048 2	8.598 6	12.107 8
0.805	4.607 2	7.831 4	11.021 7		0.845		5.061 8	8.622 2	12.141 3
0.806	4.616 7	7.847 9	11.045 1		0.846		5.075 6	8.646 1	12.175 2
0.807	4.626 2	7.864 5	11.068 7		0.847		5.089 5	8.670 3	12.209 4
0.808	4.635 9	7.881 4	11.092 5		0.848		5.103 5	8.694 7	12.243 9
0.809	4.645 6	7.898 3	11.116 5		0.849		5.117 7	8.719 4	12.278 8
0.810	4.655 4	7.915 4	11.140 7		0.850		5.132 1	8.744 3	12.314 1
0.811	4.665 3	7.932 6	11.165 1		0.851		5.146 6	8.769 5	12.349 8
0.812	4.675 3	7.950 0	11.189 7		0.852		5.161 3	8.795 0	12.385 8
0.813	4.685 4	7.967 6	11.214 5		0.853		5.176 1	8.820 7	12.422 3
0.814	4.695 5	7.985 2	11.239 6		0.854		5.191 1	8.846 8	12.459 1
0.815	4.705 8	8.003 1	11.264 9		0.855		5.206 2	8.873 1	12.496 3
0.816	4.716 1	8.021 1	11.290 3		0.856		5.221 6	8.899 7	12.533 9
0.817	4.726 6	8.039 2	11.316 0		0.857		5.237 0	8.926 6	12.572 0
0.818	4.737 1	8.057 6	11.342 0		0.858		5.252 7	8.953 7	12.610 5
0.819	4.747 7	8.076 0	11.368 2		0.859		5.268 5	8.981 2	12.649 4

表 B.1 (续)

k_t	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}	k_t	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}
0.860		5.284 6	9.009 0	12.688 7	0.900		6.122 5	10.461 1	14.742 5
0.861		5.300 8	9.037 2	12.728 5	0.901		6.150 0	10.508 9	14.810 0
0.862		5.317 2	9.065 6	12.768 7	0.902		6.178 1	10.557 4	14.878 5
0.863		5.333 7	9.094 4	12.809 4	0.903		6.206 5	10.606 6	14.948 2
0.864		5.350 5	9.123 5	12.850 6	0.904		6.235 5	10.656 7	15.019 0
0.865		5.367 5	9.152 9	12.892 2	0.905		6.264 9	10.707 6	15.090 9
0.866		5.384 6	9.182 7	12.934 4	0.906		6.294 8	10.759 3	15.164 0
0.867		5.402 0	9.212 8	12.977 0	0.907		6.325 1	10.811 9	15.238 4
0.868		5.419 6	9.243 3	13.020 2	0.908		6.356 1	10.865 3	15.314 0
0.869		5.437 4	9.274 2	13.063 8	0.909		6.387 5	10.919 7	15.390 8
0.870		5.455 4	9.305 4	13.108 0	0.910		6.419 4	10.975 0	15.469 0
0.871		5.473 6	9.337 1	13.152 8	0.911		6.452 0	11.031 3	15.548 5
0.872		5.492 1	9.369 1	13.198 0	0.912		6.485 1	11.088 5	15.629 5
0.873		5.510 8	9.401 5	13.243 9	0.913		6.518 8	11.146 8	15.711 8
0.874		5.529 7	9.434 3	13.290 3	0.914		6.553 1	11.206 1	15.795 7
0.875		5.548 8	9.467 5	13.337 3	0.915		6.588 0	11.266 5	15.881 0
0.876		5.568 2	9.501 1	13.384 8	0.916		6.623 6	11.328 0	15.967 9
0.877		5.587 9	9.535 2	13.433 0	0.917		6.659 8	11.390 6	16.056 5
0.878		5.607 8	9.569 7	13.481 8	0.918		6.696 7	11.454 4	16.146 7
0.879		5.628 0	9.604 6	13.531 3	0.919		6.734 3	11.519 5	16.238 6
0.880		5.648 4	9.640 0	13.581 3	0.920		6.772 7	11.585 7	16.332 3
0.881		5.669 1	9.675 9	13.632 1	0.921		6.811 8	11.653 3	16.427 8
0.882		5.690 1	9.712 3	13.683 5	0.922		6.851 6	11.722 2	16.525 2
0.883		5.711 3	9.749 1	13.735 6	0.923		6.892 3	11.792 5	16.624 5
0.884		5.732 9	9.786 4	13.788 4	0.924		6.933 8	11.864 2	16.725 8
0.885		5.754 7	9.824 3	13.841 9	0.925		6.976 1	11.937 3	16.829 2
0.886		5.776 8	9.862 6	13.896 1	0.926		7.019 3	12.012 0	16.934 8
0.887		5.799 3	9.901 5	13.951 1	0.927		7.063 5	12.088 3	17.042 5
0.888		5.822 0	9.940 9	14.006 9	0.928		7.108 5	12.166 1	17.152 6
0.889		5.845 1	9.980 9	14.063 4	0.929		7.154 6	12.245 7	17.265 0
0.890		5.868 5	10.021 4	14.120 7	0.930		7.201 7	12.327 0	17.379 9
0.891		5.892 3	10.062 6	14.178 9	0.931		7.249 8	12.410 1	17.497 3
0.892		5.916 3	10.104 3	14.237 9	0.932		7.299 0	12.495 1	17.617 4
0.893		5.940 8	10.146 6	14.297 7	0.933		7.349 3	12.582 0	17.740 2
0.894		5.965 6	10.189 6	14.358 5	0.934		7.400 8	12.670 9	17.865 9
0.895		5.990 7	10.233 1	14.420 1	0.935		7.453 5	12.761 9	17.994 5
0.896		6.016 3	10.277 4	14.482 6	0.936		7.507 5	12.855 1	18.126 2
0.897		6.042 2	10.322 3	14.546 1	0.937		7.562 8	12.950 6	18.261 1
0.898		6.068 6	10.367 8	14.610 6	0.938		7.619 4	13.048 4	18.399 3
0.899		6.095 3	10.414 1	14.676 0	0.939		7.677 5	13.148 7	18.541 0

表 B.1 (续)

k_t	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}	k_t	k_{15}	f_{a3}/f_{a1}	f_{a5}/f_{a1}	f_{a7}/f_{a1}
0.940		7.737 1	13.251 5	18.686 2	0.970		10.765 8	18.473 3	26.062 0
0.941		7.798 2	13.356 9	18.835 2	0.971		10.943 9	18.780 0	26.495 2
0.942		7.860 9	13.465 2	18.988 1	0.972		11.131 5	19.103 2	26.951 7
0.943		7.925 2	13.576 3	19.145 1	0.973		11.329 6	19.444 4	27.433 5
0.944		7.991 4	13.690 4	19.306 4	0.974		11.539 1	19.805 3	27.943 0
0.945		8.059 4	13.807 7	19.472 1	0.975		11.761 3	20.187 8	28.483 2
0.946		8.129 3	13.928 4	19.642 6	0.976		11.997 2	20.594 2	29.057 0
0.947		8.201 2	14.052 4	19.817 8	0.977		12.248 6	21.027 0	29.668 1
0.948		8.275 2	14.180 1	19.998 2	0.978		12.517 0	21.489 2	30.320 8
0.949		8.351 4	14.311 6	20.184 0	0.979		12.804 5	21.984 2	31.019 8
0.950		8.430 0	14.447 1	20.375 5	0.980		13.113 6	22.516 2	31.771 0
0.951		8.511 0	14.586 8	20.572 8	0.981		13.446 9	23.090 0	32.581 1
0.952		8.594 5	14.731 0	20.776 4	0.982		13.807 8	23.711 2	33.458 2
0.953		8.680 8	14.879 7	20.986 6	0.983		14.200 3	24.386 8	34.412 2
0.954		8.769 9	15.033 4	21.203 6	0.984		14.629 3	25.195 2	35.454 6
0.955		8.862 0	15.192 2	21.428 0	0.985		15.100 7	25.936 5	36.600 1
0.956		8.957 3	15.356 6	21.660 2	0.986		15.622 1	26.833 8	37.866 9
0.957		9.056 0	15.526 7	21.900 4	0.987		16.202 9	27.833 1	39.277 7
0.958		9.158 2	15.702 9	22.149 3	0.988		16.855 1	28.955 4	40.862 2
0.959		9.264 2	15.885 6	22.407 4	0.989		17.594 8	30.228 0	42.658 8
0.960		9.374 2	16.075 3	22.675 3	0.990		18.443 2	31.687 7	44.719 4
0.961		9.488 5	16.272 3	22.953 5	0.991		19.429 9	33.385 1	47.115 8
0.962		9.607 3	16.477 1	23.242 8	0.992		20.596 8	35.392 3	49.949 3
0.963		9.731 0	16.690 3	23.543 9	0.993		22.006 1	37.816 5	53.371 5
0.964		9.859 9	16.912 4	23.857 6	0.994		23.755 2	40.825 0	57.618 4
0.965		9.994 3	17.144 1	24.184 8	0.995		26.006 6	44.697 0	63.084 1
0.966		10.134 7	17.386 0	24.526 5	0.996		29.056 9	49.942 8	70.489 1
0.967		10.281 5	17.639 0	24.883 8	0.997		33.526 5	57.628 8	81.338 5
0.968		10.435 3	17.903 9	25.257 9	0.998		41.017 7	70.510 1	99.521 0
0.969		10.596 5	18.181 6	25.650 1	0.999		57.856 0	99.462 0	140.387 3

附 录 C
(规范性附录)
 f_u/f_p 与 k_t, k_{15} 的关系

f_u/f_p 与 k_t, k_{15} 的对应关系见表 C.1。

表 C.1 f_u/f_p 与 k_t, k_{15} 的关系

k_t	k_{15}	f_{u1}/f_p	f_{u2}/f_p	f_{u3}/f_p	f_{u4}/f_p	k_t	k_{15}	f_{u1}/f_p	f_{u2}/f_p	f_{u3}/f_p	f_{u4}/f_p
0.00		1.000 0	3.000 0	5.000 0	7.000 0	0.31		0.959 4	2.986 9	4.992 2	6.994 4
0.01		0.999 9	2.999 9	4.999 9	7.000 0	0.32		0.956 6	2.986 1	4.991 7	6.994 1
0.02		0.999 8	2.999 9	4.999 9	6.999 9	0.33		0.953 8	2.985 2	4.991 1	6.993 7
0.03		0.999 6	2.999 8	4.999 9	6.999 9	0.34		0.950 8	2.984 3	4.990 6	6.993 2
0.04		0.999 3	2.999 7	4.999 8	6.999 8	0.35		0.947 7	2.983 3	4.990 0	6.992 8
0.05		0.998 9	2.999 6	4.999 7	6.999 8	0.36		0.944 5	2.982 3	4.989 4	6.992 5
0.06		0.998 5	2.999 5	4.999 7	6.999 7	0.37		0.941 2	2.981 3	4.988 8	6.992 0
0.07		0.998 0	2.999 3	4.999 6	6.999 7	0.38		0.937 7	2.980 3	4.988 2	6.991 6
0.08		0.997 3	2.999 1	4.999 4	6.999 6	0.39		0.934 2	2.979 3	4.987 6	6.991 1
0.09		0.996 7	2.998 9	4.999 3	6.999 5	0.40		0.930 5	2.978 2	4.986 9	6.990 7
0.10		0.995 9	2.998 6	4.999 1	6.999 4	0.41		0.926 8	2.977 1	4.986 3	6.990 2
0.11		0.995 0	2.998 3	4.999 0	6.999 3	0.42		0.922 9	2.975 9	4.985 6	6.989 7
0.12		0.994 1	2.998 0	4.998 8	6.999 1	0.43		0.918 8	2.974 8	4.984 9	6.989 2
0.13		0.993 1	2.997 7	4.998 6	6.999 0	0.44		0.914 7	2.973 6	4.984 2	6.988 7
0.14		0.991 9	2.997 3	4.998 4	6.998 8	0.45		0.910 4	2.972 4	4.983 5	6.988 2
0.15		0.990 7	2.996 9	4.998 1	6.998 6	0.46		0.906 0	2.971 1	4.982 7	6.987 7
0.16		0.989 5	2.996 5	4.997 9	6.998 4	0.47		0.901 4	2.969 8	4.982 0	6.987 1
0.17		0.988 1	2.996 0	4.997 6	6.998 3	0.48		0.896 7	2.968 5	4.981 2	6.986 6
0.18		0.986 6	2.995 6	4.997 3	6.998 1	0.49		0.891 9	2.967 2	4.980 4	6.986 0
0.19		0.985 1	2.995 1	4.997 0	6.997 9	0.50		0.886 9	2.965 8	4.979 6	6.985 5
0.20		0.983 5	2.994 5	4.996 7	6.997 6	0.51		0.881 8	2.964 4	4.978 8	6.984 9
0.21		0.981 8	2.994 0	4.996 4	6.997 4	0.52		0.876 5	2.963 0	4.977 9	6.984 2
0.22		0.979 9	2.993 4	4.996 0	6.997 2	0.53		0.871 1	2.961 6	4.977 1	6.983 7
0.23		0.978 0	2.992 8	4.995 7	6.996 9	0.54		0.865 4	2.960 1	4.976 2	6.983 0
0.24		0.976 0	2.992 2	4.995 3	6.996 6	0.55		0.859 7	2.958 6	4.975 3	6.982 4
0.25		0.974 0	2.991 5	4.994 9	6.996 3	0.56		0.853 7	2.957 0	4.974 4	6.981 8
0.26		0.971 8	2.990 8	4.994 5	6.996 0	0.57		0.847 6	2.955 5	4.973 5	6.981 1
0.27		0.969 5	2.990 1	4.994 0	6.995 7	0.58		0.841 3	2.953 9	4.972 6	6.980 4
0.28		0.967 1	2.989 3	4.993 6	6.995 4	0.59		0.834 8	2.952 3	4.971 6	6.979 7
0.29		0.964 7	2.988 5	4.993 1	6.995 1	0.60		0.828 1	2.950 6	4.970 6	6.979 0
0.30		0.962 1	2.987 7	4.992 6	6.994 8	0.61		0.821 2	2.948 9	4.969 6	6.978 3

表 C.1 (续)

k_t	k_{15}	f_{a1}/f_p	f_{a2}/f_p	f_{a3}/f_p	f_{a4}/f_p	k_t	k_{15}	f_{a1}/f_p	f_{a2}/f_p	f_{a3}/f_p	f_{a4}/f_p
0.62	0.814 1	2.947 2	4.968 6	6.977 6		0.81	0.624 9	2.909 2	4.946 3	6.961 8	
0.63	0.806 7	2.945 5	4.967 6	6.976 9		0.82	0.610 8	2.906 9	4.945 0	6.960 9	
0.64	0.799 2	2.943 7	4.966 6	6.976 2		0.83	0.596 2	2.904 6	4.943 6	6.959 9	
0.65	0.791 4	2.941 9	4.965 5	6.975 4		0.84	0.581 0	2.902 2	4.942 3	6.958 9	
0.66	0.783 4	2.940 1	4.964 4	6.974 6		0.85	0.565 0	2.899 8	4.940 9	6.958 0	
0.67	0.775 1	2.938 2	4.963 3	6.973 9		0.86	0.548 2	2.897 4	4.939 5	6.956 9	
0.68	0.766 5	2.936 3	4.962 2	6.973 1		0.87	0.530 6	2.895 0	4.938 0	6.955 9	
0.69	0.757 7	2.934 4	4.961 1	6.972 3		0.88	0.512 0	2.892 5	4.936 6	6.954 9	
0.70	0.748 6	2.932 5	4.960 0	6.971 5		0.89	0.492 4	2.890 0	4.935 1	6.953 9	
0.71	0.739 2	2.930 5	4.958 8	6.970 7		0.90	0.471 6	2.887 4	4.933 7	6.952 8	
0.72	0.729 5	2.928 5	4.957 6	6.969 9		0.91	0.449 4	2.884 9	4.932 2	6.951 8	
0.73	0.719 5	2.926 5	4.956 5	6.969 0		0.92	0.425 5	2.882 3	4.930 7	6.950 7	
0.74	0.709 1	2.924 4	4.955 2	6.968 1		0.93	0.399 8	2.879 7	4.929 1	6.949 6	
0.75	0.698 3	2.922 3	4.954 0	6.967 2		0.94	0.371 8	2.877 0	4.927 6	6.948 5	
0.76	0.687 2	2.920 2	4.952 8	6.966 4		0.95	0.340 9	2.874 4	4.926 1	6.947 5	
0.77	0.675 6	2.918 1	4.951 5	6.965 5		0.96	0.306 3	2.871 7	4.924 5	6.946 3	
0.78	0.663 7	2.915 9	4.950 2	6.964 6		0.97	0.266 4	2.868 9	4.922 9	6.945 2	
0.79	0.651 2	2.913 7	4.949 0	6.963 7		0.98	0.218 5	2.866 2	4.921 3	6.944 1	
0.80	0.638 3	2.911 4	4.947 6	6.962 7		0.99	0.155 2	2.863 4	4.919 7	6.942 9	

附录 D

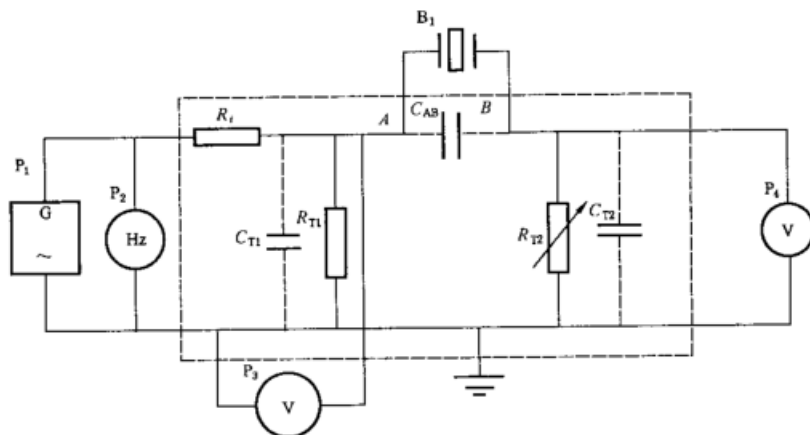
(规范性附录)

特征频率和动态电阻的传输线路法测试

D.1 测试原理

D.1.1 恒压源传输线路测试

恒压源传输线路测试电路见图 D.1。图中分压电阻(R_i)的值与信号发生器的输出阻抗相匹配, $R_i \geq 10R_{T1}$, 测 f_s 时, 一般取 $R_{T1} = R_{T2}$, 终端可变电阻(R_{T2})的取值应与被测试样的动态电阻(R_1)相适应, 其取值范围一般为 $0.1R_1 \leq R_{T2} \leq 0.5R_1$ (最小参考值为 5.1Ω); 测 f_p 时, R_{T2} 的取值应根据电压表的灵敏度来确定(参考值为 $1 \text{ k}\Omega \sim 5 \text{ k}\Omega$)。A、B 间的分布电容(C_{AB})远低于试样的自由电容(C^T), 分布电容 C_{T1} 、 C_{T2} 的容抗应满足 $1/\omega C_{T1} \gg R_{T1}$ 、 $1/\omega C_{T2} \gg R_{T2}$ 。



- B_1 ——被测试样;
 C_{T1} 、 C_{T2} 、 C_{AB} ——分布电容;
 R_i 、 R_{T1} ——分压电阻;
 R_{T2} ——终端可变电阻;
 P_1 ——信号发生器;
 P_2 ——数字频率计;
 P_3 、 P_4 ——高频电压表。

图 D.1 恒压源传输线路测试电路图

D.1.2 恒流源传输线路测试

恒流源传输测试电路见图 D.2。图中匹配电阻(R_{T3})的值与信号发生器的输出阻抗相匹配, 限流电阻(R_{T4})的取值应远大于被测试样的动态电阻(R_1), 参考值为 $1 \text{ k}\Omega$ 。A、B 间的分布电容(C_{AB})远低于试样的自由电容(C^T)。

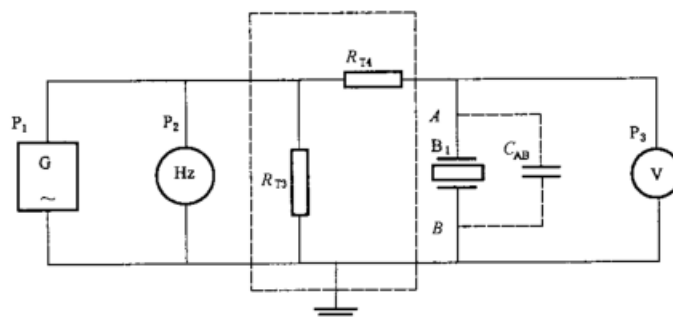


图 D.2 恒流源传输线路测试电路图

D.2 测试信号及设备

D.2.1 测试信号

电场强度应不大于 30 mV/mm。

D.2.2 测试设备

测试设备应符合下列要求：

- 信号发生器：频率瞬时稳定度高于待测频率的准确度，输出信号波形为正弦波，谐波失真抑制大于 30 dB；
- 频率计：频率分辨率优于 1 Hz，输入阻抗远大于信号源的输出阻抗，且不影响信号源的输出特性；
- 电压表：输入阻抗大于 1 MΩ，输入电容不大于 40 pF，频率范围高于待测频率；
- 可变电阻箱：应用无感可变电阻箱，最小分度 0.1 Ω。

D.3 振动模式

D.3.1 柱体纵向长度伸缩振动模式

D.3.1.1 试样

试样的要求见 5.5.2。

D.3.1.2 夹具

测试盒应屏蔽、接地良好，与各仪器连接用短屏蔽线，接插件采用高频连接器，试样夹具应稳固地支持住试样，同时应使试样处于相对自由振动状态，并保证夹具与试样电极面的电接触良好。测试盒及试样夹具分布电容应小于被测试样自由电容的 10%，绝缘性能良好。

D.3.1.3 参数测量

D.3.1.3.1 f_{π} 、 f_p 的测量

测量步骤为：

- 将被测试样置于试样夹具内，按图 D.1 连接测试传输线路，调节信号发生器频率，测试信号应符合 D.2.1 的要求。使恒压源传输线路测试终端电压表指示最大，此时的频率为包含试样的传输网络的最大传输频率 (f_{mT})。
- 调节 R_{T2} 至适当阻值，增大信号发生器的频率，使恒压源传输线路测试终端电压表指示最小，此时的频率为包含试样的传输网络的最小传输频率 (f_{nT}')。
- 若测试网络及夹具的分布电容 C_{AB} 可以忽略时，则 $f_{nT} = f_{nT}'$ ；若不可忽略，则可用公式 (D.1) 来修正。

$$f_{nT} = \frac{f_{nT}'}{\sqrt{1 - (C_{AB}/C^T)[(f_{nT}'/f_{mT})^2 - 1]}} \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

f_{nT} —— C_{AB} 对 f_{nT} 的影响可忽略时包含试样的传输网络的最小传输频率的数值,单位为赫兹(Hz);

f_{nT}' —— C_{AB} 对 f_{nT} 的影响不可忽略时包含试样的传输网络的最小传输频率的数值,单位为赫兹(Hz)。

在一级近似下 $f_s = f_{mT}, f_p = f_{nT}$ 。

D.3.1.3.2 R_1 的测量

测量步骤为:

- 在 D.3.1.3.1 用恒压源传输测试线路测试 f_{mT} 时,记下电压表 P_4 的指示值;
- 用无感可变电阻箱替代被测试样,调节电阻箱阻值,使电压表 P_4 指示值与替代前相同,此时,可变电阻箱的阻值为 Z_m ;
- 在一级近似下 $R_1 = Z_m$ 。

D.3.2 圆片厚度伸缩振动模式

D.3.2.1 试样

试样的要求见 5.6.2。

D.3.2.2 夹具

测试盒应屏蔽、接地良好,与各仪器连接用短屏蔽线,接插件采用高频连接器。试样夹具应稳固地支持住试样,同时应使试样处于相对自由振动状态,并保证夹具与试样电极面的电接触良好,接触点的直径为 $\phi 0.3\text{ mm} \sim \phi 1.0\text{ mm}$,夹持点应在试样电极面上接近圆边处,如 $\phi 20\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 推荐试样夹持点距圆边 2 mm 左右,夹具应绝缘良好。

D.3.2.3 参数测量

D.3.2.3.1 f_{s1} 的测量

被测试样置于试样夹具内,按图 D.1 或图 D.2 连接测试传输线路,测试信号应符合 D.2.1 的要求。在试样厚度振动基频附近,调节信号发生器频率,使恒压源传输线路测试终端电压表指示最大或恒流源传输线路测试终端电压表指示最小。此频率即为试样厚度伸缩振动 f_{s1} 。

D.3.2.3.2 f_{s3}, f_{s5}, f_{s7} 的测量

测量 f_{s1} 后,在 D.2.1 规定的测试电场下,调高信号发生器频率,在试样厚度振动三次、五次、七次泛音频率附近,使恒压源传输线路测试终端电压表指示最大或恒流源传输线路测试终端电压表指示最小,依次得到试样厚度伸缩振动模式三次、五次、七次泛音串联谐振频率 f_{s3}, f_{s5}, f_{s7} 。

D.3.2.3.3 R_1 的测量

按图 D.1 测量 f_{s1} 时,用电压表读出 f_{s1} 对应输入电压 V_1 和终端输出电压 V_2 ,按公式(D.2)计算试样的谐振阻抗,在一级近似下即为试样 R_1 。

$$R_1 = \frac{V_1 - V_2}{V_2} R_{T2} \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

R_{T2} ——终端电阻的数值,单位为欧姆(Ω);

V_1 ——输入电压的数值,单位为伏特(V);

V_2 ——终端输出电压的数值,单位为伏特(V)。

D.3.3 长方片厚度切变振动模式

D.3.3.1 试样

试样的要求见 5.7.2。

D.3.3.2 夹具

测试盒应屏蔽、接地良好,与各仪器连接用短屏蔽线,接插件采用高频连接器。试样夹具应稳固地支持住试样,同时应使试样处于相对自由振动状态,并保证夹具与试样电极面的电接触良好,夹具电极

夹持点直径约为 $\phi 0.5$ mm, 夹具应绝缘良好。

D.3.3.3 参数测量

D.3.3.3.1 f_{s1} 的测量

被测试样置于试样夹具上, 按图 D.1 或图 D.2 连接测试传输线路, 测试信号应符合 D.2.1 的要求。在试样厚度振动基频附近, 调节信号发生器频率, 使恒压源传输线路测试终端电压表指示最大或恒流源传输线路测试终端电压表指示最小。此频率即为试样厚度切变振动 f_{s1} 。

D.3.3.3.2 f_{s3} 、 f_{s5} 、 f_{s7} 的测量

测量 f_{s1} 后, 在 D.2.1 规定的测试电场下, 调高信号发生器频率, 在试样厚度振动三次、五次、七次泛音频率附近, 使恒压源传输线路测试终端电压表指示最大或恒流源传输线路测试终端电压表指示最小, 依次得到试样厚度切变振动模式三次、五次、七次泛音串联谐振频率 f_{s3} 、 f_{s5} 、 f_{s7} 。

D.3.3.3.3 R_1 的测量

R_1 的测量方法见 D.3.2.3.3。
