

# 实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-10-15

实验题目：简易介电常数测试仪的设计与制作

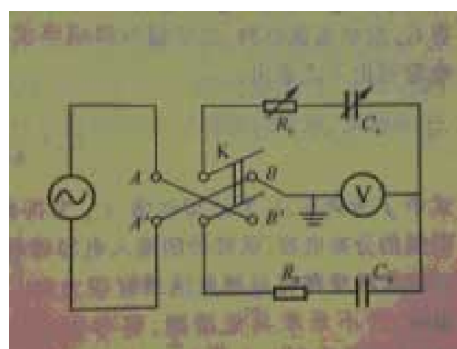
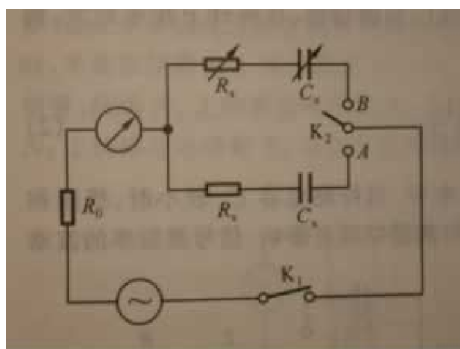
实验目的：了解多种测量介电常数的方法及其特点和适用范围，掌握替代法，比较法和谐振法测固体电介质介电常数的原理和方法，用自己设计与制作的介电常数测试仪，测量压电陶瓷的介电常数。

实验原理：介质材料的介电常数一般利用相对介电常数  $\epsilon_r$  来表示，而且有

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{Cd}{\epsilon_0 S}$$

电容的测定方法如下：

## 1、替代法



图一：替代法参考电路

原理图如上所示。其基本思路是通过调节可变电阻与可变电容，使  $I_s = I_x$  或者  $U_x = U_s$ ，从而有  $C_x = C_{s0}$ 。

## 2、比较法

当待测电容较小时用替代法，标准可变电容箱有效位数损失太大，故可用比较法，此时：

$$C_x = C_s V_s / V_x$$

## 3、谐振法

将电路组成 RLC 回路，伏特计上指示最大，此时有

$$C_x = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

如果  $C_x$  很小，则容谐振替代法，两次达到谐振，电容电压最大，有  $C_x = C_{s0}$ 。

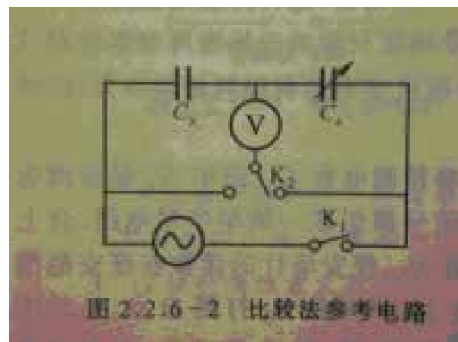


图 2.2.6-2 比较法参考电路



图 2.2.6-4 谐振替代法参考电路

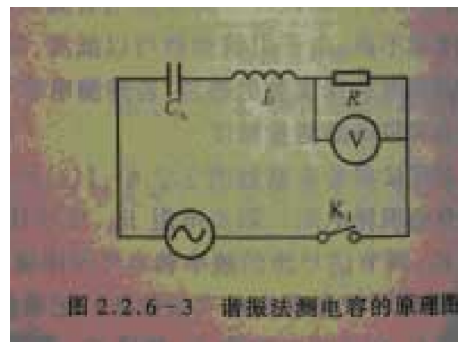


图 2.2.6-3 谐振法测电容的原理图

# 实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-10-15

实验仪器：信号源一台，多用表一块，电容箱一个，交流电阻箱一个，压电陶瓷一个，电感器一个，导线若干

- 实验内容：1、根据所给仪器、元件和用具、采用替代法设计一台简易的介电常数测试仪，测量压电陶瓷的介电常数  $\epsilon_0$ 。
- 2、用比较法设计一台简易的介电常数测试仪，测量压电陶瓷的介电常数  $\epsilon_0$ 。
- 3、用谐振法和谐振替代法设计一台简易的介电常数测试仪，测量压电陶瓷的介电常数  $\epsilon_0$ 。

实验数据：

## 1、替代法

测量序号	1	2	3	4	5	6
电容 ( $\mu\text{F}$ )	0.0340	0.0399	0.0340	0.0340	0.0341	0.0341

表一：替代法测量电容数据

## 2、比较法

$C_s=0.0341 \mu\text{F}$

测量序号	1	2	3	4	5	6
$V_s$ ( V )	3.056	3.064	3.065	3.055	3.053	3.054
$V_x$ ( V )	3.099	3.107	3.106	3.099	3.092	3.098

表二：比较法测量电容数据

## 3、谐振法

测量序号	1	2	3	4	5	6
频率 ( Hz )	821.71	820.65	824.27	821.05	824.21	822.38

表三：谐振法测量电容数据

## 4、谐振替代法

测量序号	1	2	3	4	5	6
电容 ( $\mu\text{F}$ )	0.0376	0.0378	0.0373	0.0376	0.0377	0.0374

表四：谐振替代法测量电容数据

## 5、仪器常数

### (1) 压电陶瓷几何尺寸

直径  $d=(24.65 \pm 0.02)\text{mm}$  (  $P=0.95$  )

厚度  $h=(0.194 \pm 0.010)\text{mm}$  (  $P=0.95$  )

### (2) 电容箱示值准确度

$10 \times 0.1 \mu\text{F}$  组  $\pm 0.5\%$

$10 \times 0.01 \mu\text{F}$  组  $\pm 0.65\%$

$10 \times 0.001 \mu\text{F}$  组  $\pm 2\%$

$10 \times 0.0001 \mu\text{F}$  组  $\pm 5\%$

数据处理：

介电常数的计算公式可以被统一化为  $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{Ch}{\epsilon_0 S} = \frac{Ch}{\epsilon_0 \pi (\frac{d}{2})^2} = \frac{4Ch}{\epsilon_0 \pi d^2}$

由于实验中替代法和谐振替代法认为  $C_x=C_s$ ，故相应数据处理中对 C 的脚标不加区分。

# 实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-10-15

## 1、替代法

$$\overline{C_x} = \frac{0.0340 + 0.0339 + 0.0340 + 0.0340 + 0.0341 + 0.0341}{6} \mu F = 0.0340 \mu F$$

那么根据公式计算出

$$\varepsilon_r = \frac{4\overline{C_x}h}{\varepsilon_0\pi d^2} = \frac{4 \times 0.0340 \times 10^{-6} \times 0.194 \times 10^{-3}}{8.85 \times 10^{-12} \times 3.14 \times 0.02465^2} = 1.563 \times 10^3$$

## 2、比较法

利用公式计算出各组  $C_x$ ，得到下表

测量序号	1	2	3	4	5	6
$V_s (V)$	3.056	3.064	3.065	3.055	3.053	3.054
$V_x (V)$	3.099	3.107	3.106	3.099	3.092	3.098
$C_x (\mu F)$	0.0336	0.0336	0.0336	0.0336	0.0337	0.0336

表五：比较法测量电容计算结果

$$\overline{C_x} = \frac{0.0336 + 0.0336 + 0.0336 + 0.0336 + 0.0337 + 0.0336}{6} \mu F = 0.0336 \mu F$$

那么根据公式计算出

$$\varepsilon_r = \frac{4\overline{C_x}h}{\varepsilon_0\pi d^2} = \frac{4 \times 0.0336 \times 10^{-6} \times 0.194 \times 10^{-3}}{8.85 \times 10^{-12} \times 3.14 \times 0.02465^2} = 1.544 \times 10^3$$

## 3、谐振法

$$\overline{f} = \frac{821.71 + 820.65 + 824.27 + 821.05 + 824.21 + 822.38}{6} Hz = 822.38 Hz$$

取  $L=1H$ ，那么根据电容公式计算出

$$\overline{C_x} = \frac{1}{4\pi^2 \overline{f}^2 L} = \frac{1}{4 \times 3.14^2 \times 822.38^2 \times 1} F = 0.0375 \mu F$$

根据介电常数计算公式计算出

$$\varepsilon_r = \frac{4\overline{C_x}h}{\varepsilon_0\pi d^2} = \frac{4 \times 0.0375 \times 10^{-6} \times 0.194 \times 10^{-3}}{8.85 \times 10^{-12} \times 3.14 \times 0.02465^2} = 1.723 \times 10^3$$

## 4、谐振替代法

$$\overline{C_x} = \frac{0.0376 + 0.0378 + 0.0373 + 0.0376 + 0.0377 + 0.0374}{6} \mu F = 0.0376 \mu F$$

那么根据公式计算出

$$\varepsilon_r = \frac{4\overline{C_x}h}{\varepsilon_0\pi d^2} = \frac{4 \times 0.0376 \times 10^{-6} \times 0.194 \times 10^{-3}}{8.85 \times 10^{-12} \times 3.14 \times 0.02465^2} = 1.728 \times 10^3$$

测量列的标准差为：

# 实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-10-15

$$\begin{aligned}\sigma(C_x) &= \sqrt{\frac{\sum_i (\overline{C_x} - C_i)^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(0.0376-0.0376)^2 \times 2 + (0.0376-0.0378)^2 + (0.0376-0.0373)^2 + (0.0376-0.0377)^2 + (0.0376-0.0374)^2}{6-1}} \mu F \\ &= 0.00019 \mu F\end{aligned}$$

取  $P=0.95$ ，查表得  $t$  因子  $t_p=2.57$ ，那么测量列不确定度的 A 类评定为

$$t_p \frac{\sigma(C_x)}{\sqrt{n}} = 2.57 \times \frac{0.00019}{\sqrt{6}} \mu F = 0.00020 \mu F$$

根据给定的电容箱的参数，可以计算得测量列不确定度的 B 类评定

$$u_B = (0.03 \times 0.65\% + 0.007 \times 2\% + 0.0006 \times 5\%) \mu F = 0.00037 \mu F$$

所以测量列的展伸不确定度为

$$U(C_x) = \sqrt{\left[t_p \frac{\sigma(C_x)}{\sqrt{n}}\right]^2 + u_B^2} = \sqrt{0.00020^2 + 0.00037^2} \mu F = 0.0004 \mu F, P = 0.95$$

根据介电常数的计算公式和不确定度的传递原则，有

$$\left[\frac{U(\epsilon_r)}{\epsilon_r}\right]^2 = \left[\frac{U(C_x)}{C_x}\right]^2 + \left[\frac{U(h)}{h}\right]^2 + \left[\frac{2U(d)}{d}\right]^2$$

那么

$$U(\epsilon_r) = \overline{\epsilon_r} \sqrt{\left[\frac{U(C_x)}{C_x}\right]^2 + \left[\frac{U(h)}{h}\right]^2 + \left[\frac{2U(d)}{d}\right]^2} = 1.728 \times 10^3 \times \sqrt{\left(\frac{0.0004}{0.0376}\right)^2 + \left(\frac{0.010}{0.194}\right)^2 + \left(\frac{0.02}{24.65}\right)^2} = 0.091 \times 10^3$$

故最终结果写成：

$$\epsilon_r = \overline{\epsilon_r} \pm U(\epsilon_r) = (1.73 \pm 0.09) \times 10^3, P = 0.95$$

实验说明：谐振替代法中测量列与谐振法中相应测量序号的频率对应。

实验小结和分析：

- 1、从实验结果来看，方法 1、2 测量结果比较接近，而方法 3、4 测量结果与 1、2 有所差异（但 3、4 结果也比较接近），主要原因是测量原理上两组有比较大的区别，在后两种方法中引入了电感，并需要人工对是否谐振进行判断，这就造成了差异。
- 2、实验过程中应该注意电学仪器（特别是万用表）的正确使用。
- 3、比较各个测量电容的方法和误差来源：替代法原理、实验仪器与操作均比较简单，但当原电路和替代电路阻抗差距比较大的时候，会产生比较大的误差，同时不能保证电容箱的有效位数被充分使用；相对于替代法，当测量小电容时，比较法可以比较充分地利用有效数位，在假定  $R_s=R_x$  的情况下，可修正替代法中的部分误差，但当  $R_s=R_x$  不成立时，同样会带来较大误差；谐振法操作简便，原理简单，但是当待测电容较小时，由于电路本身电容分布的原因，系统误差会比较大，同时对于信号源频率的稳定性和人判断是否谐振要求很高（因此这也会带来比较大的误差）；谐振替代法可广泛应用于各种电

# 实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-10-15

---

容测量，测量精度基本取决于标准电容箱的精度，其主要制约因素（误差来源）仍然是对于谐振的判断。

---