

# 交流电桥检定规程

JJG 441—1986

---

# 交流电桥检定规程

Verification Regulation of The  
Alternating Current Bridge

JJG 441—1986

---

本检定规程经国家计量局于1986年5月28日批准，并自1987年4月1日起施行。

归口单位：中国计量科学研究院

起草单位：中国计量科学研究院

本规程技术条文由起草单位负责解释。

**本规程主要起草人：**

阮永顺（中国计量科学研究院）

迈淑琴（中国计量科学研究院）

**参加起草人：**

王晓超（中国计量科学研究院）

## 目 录

一 技术要求	488
二 检定条件	489
(一) 检定用设备	489
(二) 检定环境	489
三 检定项目和检定方法	490
四 检定结果处理和检定周期	497
附录 1	498
附录 2	499
附录 3	503
附录 4	504
附录 5	505

## 交流电桥检定规程

本规程适用于检定新制造、使用中和修理后的交流电桥，它包括用于测量交流电阻、电导及其时间常数、电容及其损耗因数、电感及其品质因数的交流电桥。电桥的工作频率限于40Hz至20kHz范围内，工作电压低于200V。

本规程不适用于检定高压电桥、高频电桥及其他专用的测量非电量电桥。

### 一 技术要求

#### 1 交流电桥的准确度级别分类如下：

0.001、0.002、0.005、0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1、2、5。

#### 2 交流电桥的基本误差由两部分组成：

- (1) 与定标值有关的常数项；
- (2) 与电桥示值成比例的可变项。

可用下列公式表示：

$$\delta_{\text{lim}} = \pm C \left( 1 + \frac{R_N}{KX} \right) \% \quad (1)$$

$$\Delta_{\text{lim}} = \pm \frac{C}{100} \left( X + \frac{R_N}{K} \right) \quad (2)$$

式中  $C$ ——用百分数表示的级别指数；

$\delta_{\text{lim}}$ ——允许的相对极限误差；

$\Delta_{\text{lim}}$ ——允许的绝对极限误差，单位为 $\Omega$ 、H或F；

$R_N$ ——定标值，单位为 $\Omega$ 、H或F等；

$X$ ——电桥读数数值，单位为 $\Omega$ 、H或F等；

$K$ ——系数，一般取10（或按制造厂规定，但不能小于10）。

对于多频率及宽量程电桥，可分别列出各量程对应的级别指数或用公式、图表表示。

#### 3 稳定性

在遵守制造厂规定的使用、运输及贮存条件下，一年内电桥应符合其准确度级别规定的基本误差。

#### 4 数据及标记

电桥应在铭牌或外壳上，或在另给的文件中提供下列数据及标记。

##### 4.1 数据

- ①制造单位名称或商标；
- ②型号及序号；
- ③使用频率、有效量程、分辨率及量程因数（倍率）；
- ④电桥各量程的准确度级别；
- ⑤检定时的参考条件和允许误差；
- ⑥可正常工作的标称使用范围；
- ⑦出厂证书；

③使用说明书。

#### 4.2 标记

标记应清晰且不易磨损，并符合国家有关标准的规定。

4.2.1.4.1 条中的①、②应标明在铭牌或电桥外壳上。

4.2.2 所有端钮都应有标记，以表明其功能。

## 二 检 定 条 件

### (一) 检定用设备

5 检定交流电桥应具备下列设备

5.1 标准电容器、电容箱及可变电容器。

5.1.1 标称值

$10^{-3}\text{pF}\sim 10^3\text{nF}$  (若需要, 可扩展至  $1\text{F}$ )。

5.1.2 标准电容器(箱)的技术指标

按 JJG 183—1978 标准电容器试行检定规程的要求, 此外须有频率特性等计量学参数。

5.2 标准电感器及电感箱

5.2.1 标称值

$10^{-8}\sim 1\text{H}$

5.2.2 标准电感器的技术指标

按 JJG 184—1978 标准电感器试行检定规程的要求。此外还须有频率特性等计量学参数。

5.3 交流标准电阻器及交流电阻箱

鉴于目前尚无交流电阻器的国家标准文件, 可暂参照 IEC 标准文件 477—2 (1979)。

5.4 电容损耗因数标准器、电感品质因数标准器及电阻时间常数标准器

见附录 1。

5.5 温度计、湿度计及气压表

按表 2 规定的“检定时干扰量允许变差”要求, 选择对应的温度计、湿度计及气压表, 它们的测量误差应小于检定时干扰量允许变差的  $1/5$ 。

5.6 频率计数器及交流数字电压表

对频率及电压测量不准确而引入的误差, 不得超过  $1/10$  电桥基本误差。

5.7 高阻计

见 15 条所述。

5.8 标准交流电桥

用于按元件检定。对不同的元件需用相应的交流电桥进行测量, 其要求见本规程第一节。

6 标准量具的基本误差不应超过表 1 所规定的数值

### (二) 检定环境

7 检定电桥时, 应满足表 2 所示干扰量的参考条件和允许变差。

8 检定时应按照电桥技术说明书中规定的操作程序及工作状态(如零平衡、屏蔽方式及接线方式等)进行, 否则应修正系统误差。

9 贮存、运输及使用的极限温度

若制造厂没有规定时,则电桥应在 $-20^{\circ}\text{C}$ 至 $+50^{\circ}\text{C}$ 的环境下,经受暴露而不损坏,在恢复到参考条件后,电桥仍应满足本规程要求。

表 1

被检电桥级别指数 C (%)	标准量具基本误差与被检电桥基本误差的比值	D 及 Q 标准量具的误差与被检电桥允许误差的比值
0.005 0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、 0.5、1、2、5	$\leq \frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$ ; 当 $D > 2 \times 10^{-4}$ , $Q < 100$
0.001、0.002	$\leq \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ ; 当 $D < 2 \times 10^{-4}$ , $Q > 100$

### 10 电桥标称使用范围及允许变差

当交流电桥处于表 2 给定的参考条件下,而单一干扰量变化时(保持其他干扰量在参考条件下),变差不得超过表 3 中规定的数值。

表 2 干扰量的参考条件和允许变差

干扰量	参考条件 <sup>①</sup>	电桥级别指数 (%)	检定干扰量允许变差
环境温度	20℃	0.001...0.002	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
		0.005...0.05	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
		0.1...1.0	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
		1...5	$\pm 5^{\circ}\text{C}$
相对湿度		40%~60%	
频率	标称值		$\pm 1\%^{\text{②}}$
气压 (kPa)	101.3		$-15 \sim +5$
电压幅值	标称值		$\pm 10\%$

注:①除非制造厂另有规定。

②与频率有关的电桥或受频率影响很大的电桥,须按生产厂规定。

表 3 电桥标称使用范围及允许变差

干扰量	电桥级别指数 (%)	标称使用范围 <sup>②</sup>	允许变差 <sup>③</sup>
环境温度	0.001...0.002	参考值 $\pm 2^{\circ}\text{C}$	100%
	0.005...0.05	参考值 $\pm 5^{\circ}\text{C}$	
	0.1...5	参考值 $\pm 10^{\circ}\text{C}$	
相对湿度		25%~75%	30%
频率			
大气压力 (kPa)		86~106	
电压幅值		标称值 $+15\%$ $-75\%$	10% <sup>③</sup>

注:①除非制造厂另有规定。

②用基本误差的百分数表示。

③或者由制造厂规定。

### 三 检定项目和检定方法

检定交流电桥时,应完成表 4 所规定的检定项目。

表 4

检定项目	本规程条款	必须进行检定的项目	
		出厂或修理后	周期检定
外观检查	11, 12, 13	+	+
绝缘强度	14	+	—
绝缘电阻	15, 16	+	—
操作试验	17	-	+
测定电桥灵敏度	18	+	+
测定电源误差	19, 20	+	+
测定电桥的基本误差	25, 26, 27	+	+

注：1. “+”号表示进行该项检定工作。

2. 电桥经轻微的、不影响读数的修理，可不做绝缘强度及绝缘电阻检定。

### (一) 外观检查

- 11 应按照制造厂的技术说明书，检查电桥的完整性。
- 12 电桥不应有损坏的端钮或缺少必要的标记，以免妨碍检定。
- 13 电桥不应有影响计量性能的缺陷（如旋钮的位置不正确、刻度不清、接触不良等），否则应修复后再检定。

### (二) 绝缘强度检定

- 14 试验电压为 0.75kV，频率为 50Hz，功率不小于 0.25kVA 的测试设备，试品承压时间 2min（当电桥有直流电源及线路直接接地线时，应先断开直流电源及地线）。

### (三) 测定绝缘电阻

- 15 可用高阻表测量绝缘电阻。高阻表的量程应为  $10^0 \sim 10^{13}\Omega$ ，工作电压 1~1000V、测量误差小于 30%。
- 16 电桥线路与屏蔽间的绝缘电阻不得小于 100M $\Omega$ 。

### (四) 操作试验

- 17 按照电桥的使用说明书，接通电源，接入某一标准器，试探性地进行电桥平衡，观察电桥的工作状况，检查开关及插头的接触是否良好。为了消除由于长久保存导致表面可能存在的氧化膜或尘埃，在接通电源之前，应将旋钮来回转动几次后，再进行操作试验。

### (五) 测定电桥的灵敏度

- 18 测定电桥灵敏度时，应在电桥使用说明书规定的额定工作电压下进行，可只测定电桥基本量程时的灵敏度。作此项测定时，先将电桥平衡，然后转动相当于电桥准确度级别指数 C% 的增量，确定指示器对应的偏转格数，该偏转格数不小于 1 格。

电桥的相对灵敏度  $S^0$  和绝对灵敏度  $S_a$  可由式 (3) 或式 (4) 计算：

$$S^0 = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x} \quad (3)$$

$$S_a = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x} \quad (4)$$

式中  $x$ ——被测参数，取定标值；

$\Delta x$ ——被测参数的增量或电桥主分量调节盘的增量；

$\Delta\alpha$ ——当有  $\Delta x$  增量时，指示器的偏转格数。

- 18.1 对于用耳机或示波管显示的电桥，可以调节电桥测量盘的最小步进值，直接测定灵敏

阈,由灵敏阈引入的误差应包括在电桥的基本误差之内。若生产厂的技术条件没有规定,则灵敏阈应小于电桥级别指数的 $1/10$ 。

**18.2** 当采用整体检定时,也可在检定电桥的示值误差时,同时确定灵敏度。

(六) 测定电桥电源的误差

**19** 用频率计测定电源的频率示值偏差,由电源频率示值偏差引入的电桥示值误差,应小于 $1/10$ 电桥基本误差。

**20** 有的交流电桥或所用的标准器受电压幅值的影响较大,则应检定电源的电压示值误差。

(七) 电桥示值基本误差的检定

检定时,应按下列项目正确选择检定条件。

**21** 选择检定时的工作频率

应在电桥技术条件所规定的校准频率下检定,若被检电桥没有规定,可按下列测量范围选择检定时的工作频率:

量程为 $10^{-4}\mu\text{F}\sim 1\mu\text{F}$ ,  $10^{-8}\sim 0.1\text{H}$ ,  $10^{-2}\sim 10^6\Omega$ 的交流电桥,在 $1\text{kHz}$ 下检定。

量程为 $\geq 1\mu\text{F}$ ,  $\geq 1\text{H}$ ,  $> 10^6\Omega$ 的电桥,在 $50\text{Hz}$ 或 $1000\text{Hz}$ 下检定。

**22** 基本量程的选择

宽量程电桥往往分成几个量程,应按该电桥技术文件规定,主要检定基本量程的基本误差(有时可有几个基本量程)。若无此项规定时,则选择准确度最高的量程或比例器的比值为1时的量程,或者根据标准量具使电桥的示值用到最大读数盘时的量程为基本量程。

**23** 电桥工作电压的选择

当用标准器检定电桥时,所选取的工作电压应兼顾标准器和被检电桥两者的规定,选择其中较小的数值。

**24** 温度及湿度稳定时间

电桥检定前应存放在表2所示的环境条件下足够的时间,使达到稳定,由于电桥的结构不同及室内、外温差不同,所需稳定时间也就不同。故只提供经验数据,一般不短于下列规定:

0.001~0.05级 存放24h;

0.1~5级 存放8h。

**25** 整体检定法

整体检定法是在电桥的参考条件下,用相应的标准器作为电桥的测量对象,从而确定电桥示值的基本误差。

**25.1** 确定电桥测量交流电阻(电导),电容及电感的基本误差。

**25.1.1** 用标准器直接检定

按电桥测量对象,接入相应的标准器,调节标准器(用电容箱、电阻箱或电感箱)及电桥的正交分量调节盘,使电桥平衡,从而确定电桥示值的实际值或修正值。应逐位检定电桥全部有数字示值的误差,这时,除被测十进盘外,其余十进盘均置于零位。

**25.1.2** 用组合标准器进行补充检定

即用电阻器与标准电容器(或电感器)串联或并联,使得组合标准器的 $D$ 值应接近于电桥读数装置的最大值,而 $Q$ 值则接近于电桥读数装置的最小值。组合标准中的电容及电感标称值可在量程中任选某一标称值。



25.1.3 用整体检定法时,电桥示值的基本误差可按下式计算:

绝对误差

$$\Delta = X_B - X_S \quad (5)$$

相对误差

$$\delta = \frac{X_B - X_S}{X} \times 100\% \quad (6)$$

式中  $X_B$ ——电桥示值;

$X$ ——标准器标称值;

$X_S$ ——标准器的实际值。

对于多位十进盘的电桥,各盘的误差分配见附录 5。

25.1.4 用标准器直接检定与用组合标准器进行补充检定时,这两种检定结果的分散性应小于被检电桥技术文件中规定的相应的指标。若被检电桥的技术文件中既无规定的相应的指标,又没有相应的修正公式,则上述两种检定结果间的分散性应小于被检电桥的基本误差。

25.1.5 若只需判断电桥合格与否,不需要在检定证书中给出修正值(或实际值)时,则除基本量程全检外,对其余各量程,只选在基本量程中出现正、负号最大误差的两个示值进行检定,依此原则将各量程检完,最后判断这些量程是否合格。

25.1.6 对其余各量程亦需给出实际值的电桥检定时,可以在第一个十进盘内选取三个示值,然后在比例器的其他各量程系数下,测出该三个示值的实际值。用它们的“增量比”来确定量程系数的实际值,如式(7)所示:

$$\left. \begin{aligned} K' &= K_0 \frac{P_{mi} - P_{ni}}{P_{m0} - P_{n0}} \\ K'' &= K_0 \frac{P_{mi} - P_{ri}}{P_{m0} - P_{r0}} \\ K''' &= K_0 \frac{P_{ni} - P_{ri}}{P_{n0} - P_{r0}} \\ K_i &= \frac{1}{3} (K'_i + K''_i + K'''_i) \end{aligned} \right\}$$

式中  $K_i$ ——待求的第  $i$  量程的量程系数实际值;

$P_{mi}$ 、 $P_{ni}$ 、 $P_{ri}$ ——第  $i$  量程下,第一盘上  $m$ 、 $n$  及  $r$  三个示值的实际值;

$P_{m0}$ 、 $P_{n0}$ 、 $P_{r0}$ ——基本量程下,第一盘上  $m$ 、 $n$  及  $r$  三个示值的实际值;

$K_0$ ——基本(全检)量程的量程系数的实际值。

按式(7)求得的三个量程系数  $K'_i$ 、 $K''_i$  及  $K'''_i$ ,它们之间的分散度应  $\leq (1/3) C\%$  ( $C$  为级别指数)。

若需列出被检电桥其余各量程下示值的实际值或修正表,可按式(8)计算:

$$P_{gi} = (P_{g0} - P_{00}) \frac{K_i}{K_0} + P_{00} \quad (8)$$

式中  $P_{gi}$ ——第  $i$  量程下,第一盘上  $g$  示值的实际值;

$P_{g0}$ ——基本量程下,第一盘上  $g$  示值的实际值;

$P_{00}$ ——电桥基本量程下的零位值;

$P_{0i}$ ——电桥  $i$  量程下的零位值；

$K_i$ —— $i$  量程的系数值的实际值；

$K_0$ ——基本（全检）量程的系数值的实际值。

**25.1.7** 对于具有多个工作频率的电桥，如果使用者要求，检定电桥在其他工作频率的示值误差可按式（9）计算：

$$\delta_f = \frac{X_{Bf} - X_{Sf}}{X_{Bf}} \times 100\% \quad (9)$$

式中  $X_{Bf}$ ——频率为  $f$  时，电桥的示值；

$X_{Sf}$ ——频率为  $f$  时，标准器的实际值；

$\delta_f$ ——频率为  $f$  时，被检电桥的示值误差。

**25.2** 测定电桥损耗因数（或电导）、品质因数（或电阻）及时间常数（或残余电感）示值的基本误差。

在电桥的总量程中，选择一合适的基本量程，逐盘检定各十进盘的示值误差，此时，其他未检定的十进盘均应置于零位。

**25.2.1** 可以在被检电桥的基本量程中，任选一个电容量（或电感值）组成的损耗因数标准器（或品质因数标准器），它们是具有离散的名义值的组合式标准器。将其接电桥、进行电桥平衡时，同相和正交参量都须用电桥的读数机构进行调节。对各读数盘可只测量三个示值，即接近十进盘的起始示值、中间示值及最大示值。

**25.2.2** 对于其余的非基本量程，允许只检定第一个十进盘的三个示值，即起始、中间及最大的示值，仿照式（7）算出量程系数。

**25.2.3** 对于能分别读出正交分量和同相分量的交流电桥，则可按照 25.1 条所述，用相应的标准器直接检定正交分量的示值误差。

**25.2.4** 用整体检定法检定 AC1100 型万用电桥、AC1105 型电感电桥以及检定 C3020 型电容电桥的检定步骤，应按照附录 2 的规定进行。

## 26 按元件检定法

对按元件检定的电桥，其结构须能独立地测出内附标准器、比例器的数值。并且当接成完整的电桥线路时，不会歪曲分别测得的数值，因此，按元件检定的电桥须有独立完善的屏蔽。

在对各元件、部件分别检定时，需按被检电桥的技术文件的规定进行，保持其屏蔽方式及工作状态不变（如屏蔽的电位、负载电流、电压及耗散功率等）。工作状态偏离其规定值引起该元件变化，所引入的附加误差不应超过电桥基本误差的 1/10。

由于元件单独测量时，其相互位置的变化或影响可能引起寄生参量的变化，所以还必需在每个量程内进行补充的整体检定。一般可在各量程的起始点、中间点及最大点上测量其示值误差。

可按有关的检定规程，检定被测电桥的各元、部件。对各元、部件允许的测量误差，应按该电桥技术文件中规定的指标进行检查。若无规定时，则检定人员应按电桥线路自行合理分配误差。

按元件检定电桥时，可按下列顺序进行

**26.1** 按本规程第 11 条至第 20 条的规定，检定被测电桥的整体性能。完成上述检定项目

后，断开电源、指零仪及各部件间的连接电缆（一般用插头连接），使得可以对各元、部件进行按元件测定。

### 26.2 测定同相分量（主参数）十进读数盘的基本误差

按被测元、部件的特性，选用相应的电桥进行测定。不仅要测量该元、部件的主参数的实际值，而且还应测量其残余分量。

例如，被测部件为电容箱，则应选用比电容箱准确度高二级的电容电桥，不但测量电容箱零位电容及各示值下的电容实际值，而且测量其耗损因数（或并联电导值）。该电容箱的电容值及耗损因数均须满足被检电桥技术条件中的相应规定。

### 26.3 测定正交分量（残余分量）十进读数盘的基本误差

交流电桥测量残余分量的准确度一般均小于其测量主分量的准确度，因此，电桥的正交分量十进读数盘的位数较少，准确度也较低，可采用 26.2 条的方法进行检定。

### 26.4 测定比例器中各元件的实际值

须消除连接引线及其他元件对被测元件的影响。

### 26.5 进行补充的整体检定

按元件检定后，把电桥线路重新连接、恢复正常的工作状态，把电桥的各主要元件在每个量程内进行补充的整体检定。

## 27 半整体检定法

在电桥正常工作状态下，用相应的外接标准器测出电桥的内附标准器及比例器的误差。然后对误差进行综合，得出电桥各示值的误差，称为半整体检定法。

这种方法较多地用于检定变压器电桥，因为一般情况下，感应式比例器的比例（复数）值的误差及其受干扰量的影响均小于内附标准器的偏差。因此，可简化检定的方法（见附录 2）。

### 27.1 内附标准器检定

当电桥只有一只内附标准器时，则选择量程系数为 1，用同名义值的外接标准器作为被测对象。调节电桥的读数盘使电桥平衡，内附标准器的误差可按式（10）计算：

$$\delta_{\text{内}} = \frac{X_S - X_B}{X_S} + \delta_K \quad (10)$$

式中  $\delta_{\text{内}}$ ——内附标准器的相对误差（内附标准器相对误差与式(6)电桥的示值误差反号）；

$X_B$ ——电桥的示值；

$X_S$ ——外接标准器的实际值（证书值）；

$\delta_K$ ——1:1 时的比例误差。

当电桥有数个内附标准器时，则应逐个检定，把其余内附标准器置于零位或两端同时接地。

当电桥有“-1”读数并可自校时，则只需校准一只内附标准器，其余内附标准器可逐盘自校。究竟选择哪一只作为内部的参考标准，按电桥说明书中的规定。自校的过程见附录 2。

### 27.2 比例值检定

虽然经验证明，感应比例器的比例值实际上与时间无关。但是，可能由于使用不当（如震动、过热等）、使用电压过高使铁芯饱和、直流电流磁化以及开关等的接触电阻过大等等，

均可能使比例值变化,因此仍规定每年需校验一次比例值误差。但是,在大部分情况下只需检定 1:1 及 10:1 (或 1:10) 误差。当它们的误差小于允许误差时,可据以证明感应比例器工作正常,则其他比例值不再检定。

### 27.2.1 1:1 误差检定

常用两只同标称值电容器 (或电阻器),用换位法检定。即在电桥的外接标准端及被测端分别接入电容器  $C_1$  及  $C_2$ ,调节电桥使其平衡并记下读数  $\Delta_1$ ,然后把  $C_1$  及  $C_2$  互换位置,重新使电桥平衡并记下读数  $\Delta_2$ ,则可按式 (11) 计算比例误差:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= -\frac{1}{2} (\delta_1 + \delta_2) \\ \beta &= \frac{1}{2} (D_1 + D_2) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

式中  $\alpha$ 、 $\beta$ ——分别为比例器的 1:1 的比差及角差 (相对误差);

$\delta_1$ 、 $\delta_2$ ——分别为电桥第一次和第二次读数 (取相对值);

$D_1$ 、 $D_2$ ——电桥损耗因数盘的两次读数。

### 27.2.2 1:10 (或 10:1) 误差检定

用两只标称值为 1:10 (或 10:1) 的高准确度的外部标准器 (如 100pF 和 10pF 石英电容器),分别接入被检电桥的标准端 S 及被测端 X 进行相互比较时,可得出下述等式:

$$C_X = KC_S + \Delta \quad (12)$$

式中  $C_X$ ——接入电桥 X 端的电容器的实际值;

$C_S$ ——接入电桥 S 端的电容器的实际值;

$\Delta$ ——电桥调节盘电容读数 (单位为 pF);

$K$ ——待求的比例值。

当把  $C_X$ 、 $C_S$  及  $K$  用它们的标称值及对应的相对误差来表示时,由式 (12) 可得:

$$\left. \begin{aligned} \delta_K &= \delta_X - \delta_S - \frac{\Delta}{KC_S} \\ \delta_{10} &= \delta_X - \delta_S - \frac{\Delta_{10}}{10C_S} \\ \delta_{0.1} &= \delta_X - \delta_S - \frac{10\Delta_{0.1}}{C_S} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

式中  $\delta_K$ ——待求的比例值的相对误差;

$\delta_{10}$ —— $K=10$  时,比例值的相对误差;

$\delta_{0.1}$ —— $K=0.1$  (即 1:10) 时,比例值的相对误差;

$\delta_X$ —— $C_X$  的相对调整误差;

$\delta_S$ —— $C_S$  的相对调整误差;

$\Delta_{10}$ —— $K=10$  (即 10:1) 时,电桥调节盘电容读数 (单位为 pF);

$\Delta_{0.1}$ —— $K=0.1$  (即 1:10) 时,电桥调节盘的电容读数 (单位为 pF)。

待求的比例值可按式 (14) 计算:

$$\left. \begin{aligned} K_{10} &= 10 (1 + \delta_{10}) \\ K_{0.1} &= 0.1 (1 + \delta_{0.1}) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

式中  $K_{10}$ ——待求的 10:1 比例的实际值;

$K_{0.1}$ ——待求的 1:10 比例的实际值。

也可以用短期稳定性较高的 11 只相同标称值的电容器, 通过轮换或组合比较的方法检定 1:10 误差, 可按式 (15) 计算:

$$\delta_{0.1} = -\frac{1}{110} \sum_{i=1}^{11} \alpha_i \quad (15)$$

式中  $\delta_{0.1}$ ——比例器 1:10 的比例值相对误差;

$\alpha_i$ ——逐次轮换比较时电桥相对读数值。

### 27.2.3 其他比例误差的检定

对于感应分压器的其他比例, 周期检定时一般可不再检定, 因为其稳定度高于内附标准器的稳定度。但是, 必要时同样可用电容器轮换法检定。

$$\delta_n = -\frac{1}{n(n+1)} \sum_{i=1}^{n+1} \alpha_i \quad (16)$$

式中  $\delta_n$ ——1:n 比例值的相对误差 (比差);

$\alpha_i$ ——第  $i$  次测量时电桥读数 (即  $C_i$  与其余  $n$  只电容器并联值相比较时, 电桥的相对读数)。

## 27.3 负载效应测定

对于三绕组式感应比例器, 当负载电流增大时, 会使比例误差增加, 因此还应用大标称值标准器进行整体校验。可在电桥量限的上限附近检验 1~2 个值。

如果缺少高准确度的低阻抗标准器, 可采用测出比例器的负载效应的方法, 推算出在任何负载下引入的误差。

### 27.3.1 用加等效负载法测定负载效应

电桥在轻负载下, 调节平衡装置使电桥平衡, 然后在电桥标准端的高电位端与被测端的高电位端之间, 并联一只人工负载 (如  $1\mu\text{F}$  的电容器, 相当于测量  $2\mu\text{F}$  时的负载效应), 两种状态下电桥示值的变差即为在该负载下的负载效应。通过改变人工等效负载的方法, 可以算出被检电桥的被测端的输出阻抗, 从而可推算在任意负载下引入的误差:

$$\left. \begin{aligned} \delta &= \omega^2 l_S C_X \\ \beta &= \omega r_S C_X \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

式中  $l_S$ ——电桥被测端的等效输出阻抗电感分量;

$r_S$ ——电桥被测端的等效输出阻抗电阻分量;

$\delta$ ——由于负载  $C_X$ , 增加的比差;

$\beta$ ——由于负载  $C_X$ , 增加的角差。

## 27.4 正交分量示值误差检定

按 25.2 条所述方法进行检定。

## 四 检定结果处理和检定周期

28 对测量原始数据进行必要的处理 (如加标准器的修正值或温度修正等)。

29 检定记录的数据经计算后, 还应对数据进行化整, 要求所引入的化整误差约为该电桥级别所规定的基本误差的 1/10。

30 根据化整后的数据, 编制被检电桥示值的修正值表或实际值表。并以化整后的数据为依据, 判断由桥是否合格。

31 根据修正值表计算电桥在基本量程内的最大误差, 对于基本 (全检) 量程, 可按附录 5 的表 1 来检查。对其余的量程可按下式计算:

$$\left. \begin{aligned} \delta' &= \delta_1^+ + \delta_K^+ \\ \delta'' &= \delta_1^- + \delta_K^- \end{aligned} \right\}$$

式中  $\delta_1^+$ 、 $\delta_1^-$ ——全检量程下, 电桥读数盘的正号最大相对误差与负号最大相对误差;

$\delta_K^+$ 、 $\delta_K^-$ ——在其余量程下, 量程 (比例) 系数正号最大相对误差及负号最大相对误差。

在  $|\delta'|$  与  $|\delta''|$  中选择较大的一个来判断被检电桥是否超出允许误差。

32 满足本规程全部要求, 检定所确定的误差不超过该电桥的基本误差, 则电桥是合格的并发给检定证书 (由于某些原因, 仅能对某些量程检定的情况, 亦可发给检定证书, 但在证书上应注明检定的量程)。

33 如果电桥年变化小于允许误差, 则应在检定证书上注明检定周期为一年。

34 根据检定结果, 不合格的电桥只发给检定结果通知书。

35 根据检定结果, 不合格的电桥允许降级使用。在降到下一级时, 必须符合该级别的各项要求。

### 附录 1 组合式损耗因数标准器及品质因数标准器

在检定交流电桥时, 可采用标准电容器或电感器以及频率依赖性很小的金属膜电阻器组成损耗因数或品质因数标准器, 用来检定电桥  $D$  或  $Q$  示值的误差。

1 标准电感器与电阻器串联组成等效品质因数标准器 (见下图)



图 1 品质因数标准器

如图 1 所示, 组合的品质因数  $Q_c$  可按下式计算:

$$Q_c = \frac{Q_L}{1 + R_g \omega L} \quad (1)$$

式中  $Q_L$ ——标准电感器本身的  $Q_L$  值 (证书值);

$L$ ——标准电感器;

$R_g$ ——附加的串联电阻器 (封闭式金属膜电阻器) 功率  $\geq (1/4)$  W;

$\omega$ ——使用角频率的实际值。

要求  $L$ 、 $\omega$ 、 $R_g$  的实际值的误差应小于被检电桥对  $Q$  值允许误差的 1/5。

2 用电阻及标准电容器串联或并联组成等效的损耗因数标准器

(1) 串联式损耗因数标准器

如图 2 所示的串联式损耗因数标准器的  $D_c$  可用下式计算:

$$D_e = D + \omega R_S (C + C_g) \quad (2)$$

式中  $D_e$ ——组合线路的损耗因数；

$C$ 、 $D$ ——标准电容器的电容及损耗因数实际值；

$R_S$ ——金属膜或微细导线电阻器（密封结构）；

$C_g$ —— $C$  及  $R_S$  共同结点对屏蔽的电容（三电极式）或端钮间并联电容（两电极式）；

$\omega$ ——角频率，用测得的实际值。

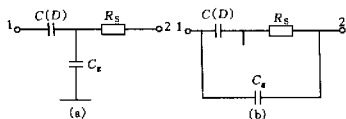


图2 串联式损耗因数标准器

(a) 三电极式；(b) 两电极式

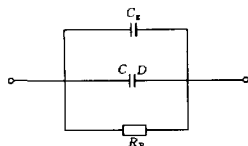


图3 三电极或两电极式损耗因数标准器

(2) 并联式电容损耗因数标准器（见图3）

由图所示的等效线路，其损耗因数  $D_e$  可用下式计算：

$$D_e = D + \frac{1}{R_P \omega (C + C_g)} \quad (3)$$

式中  $C$ 、 $D$ ——标准电容器的电容值及损耗因数；

$R_P$ ——并联电阻器；

$C_g$ ——端钮间电容及  $R_P$  的等效并联电容两者之和；

对组合标准器中的各元件允许误差及频率误差，应小于组合  $D$  标准器允许误差的  $1/5$ 。组合  $D$  标准器的名义值为  $10^{-1}$ 、 $10^{-2}$ 、 $10^{-3}$  及  $10^{-4}$ ，误差为  $2\% D + 5 \times 10^{-5}$ 。所以在检定更精密的交流电桥时，对于组合式标准器，应在选定的频率下，用专门的装置进行整体检定，并用证书所给定的实际值。

## 附录2 交流电桥的检定步骤

(一) AC1100 型万用电桥、AC1105 型电感电桥采用整体检定法的检定步骤（均为美国 SULLIVAN 产品）

1 首先进行外观检查及通电试验（见图1）。

2 测量振荡器的频率误差，若超过了“JJG184-1978 标准电感器试行检定规程”中的检定装置和检定条件对频率的要求，则该交流电桥不予检定。

3 标准电感盘的检定

3.1 选用  $0.1 \sim 10^6 \mu\text{H}$ ，误差不超过  $\pm 0.03\%$  的标准电感器，测量结果必须引用标准量具实际值。

3.2 将标准量具（电感器）接入电桥的被测

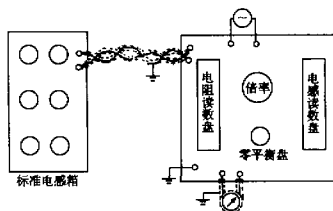


图1 检定 AC1100（或 AC1105）型电桥接线示意图

端钮，电桥的量程系数盘置于基本量程位置 ( $K=1$ )。

3.3 进行零位平衡，将电桥的电感读数盘全部放在零位，只调节电桥的零位平衡盘及电阻读数盘，使电桥平衡。这样，电感箱的零位电感及引线电感、电桥内部的杂散电感就存储在零位平衡盘上了。

3.4 对欲检的标准电感读数盘进行逐盘、逐点检定。将欲检的盘放在欲检的示值上，调节电感箱上的十进盘及电桥上的电阻盘，使电桥达到平衡后，电感箱上的读数就是电桥该盘被测点的实际值。

3.5 改换另一盘的检定时，需重新进行零位平衡。最后将三个标准电感盘及一个可变盘全部检定完。

#### 4 比例器的检定

对 0.01、0.1、10、100 四个比例值进行检定。

4.1  $K$  放在待测的量程系数上，在电桥最大盘的 3、6、9 三点示值上进行电桥平衡，在电感箱上读出相应的实际值，按本规程式 (7) 进行计算，求出欲测量程系数的实际值。

4.2 改换另一量程系数检定时，需重新进行零位平衡。将四个量程系数全部检定完。

4.3 量程系数 100 的检定，由于标准电感箱量限不够，可借助标准电感器。

#### 5 正交分量—电阻盘的检定

用交流电阻箱，对电桥的电阻盘进行逐盘、逐点检定。由于该电桥通常用于检定电感器，对电阻值没有准确度要求，所以在周期检定时不进行检定。

(二) C3020/RT 型电容电桥的检定方法及步骤 (美国 SULLIVAN 产品)

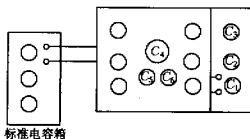


图2 检定 C3020/RT 电桥接线示意图

#### 1 直接法检定电桥 (见图2)

##### 1.1 标准电容读数盘的检定

(1) 外观检查及通电试验。

(2) 信号源频率误差的检定。

(3) 选用标准器： $1 \sim 10^6 \text{pF}$ ，误差不超过  $\pm 0.02\%$  的电容箱 (测量结果必须引用标准量具的实际值)。

(4) 将标准电容箱接入电桥被测端。

(5) 将电桥的量程系数置于基本量程位置 ( $K=1$ )。

(6) 零位平衡：将标准电容箱及电桥所有电容读数盘的位置均置于零位，调节电桥的损耗因数盘和零位平衡盘，使电桥平衡。

(7) 对电桥五个读数盘进行逐盘、逐点检定。调节电容箱读数盘及损耗因数盘，使电桥平衡。电容箱上的读数就是电桥该盘被测点的实际值。

##### 1.2 比例器的检定

最直接的方法是分别测量两个电阻臂的电阻值，然后通过计算可得到量程系数的实际值。

对 C3020/RT 电桥，可按四端电阻测试法确定桥臂的电阻值，从而完成了对比例器的检定 (在直流测试电阻值时所通过的电流应当大体上和电桥工作时所通过的交流电流一致)。

##### 1.3 损耗因数盘的检定步骤

对 C3020 电桥，其损耗因数读数盘的单位是弧度 (和频率有关)。

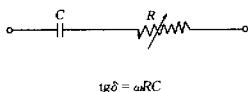
(1) 调节信号源频率，使它和读数盘上相应的频率值 (通常为 1000Hz) 之间的差异在  $\pm 0.1\%$  以内。

(2) 选择一空气电容器 (电容值为 1000pF 左右)，把它和无感电阻箱串联起来，接入  $C_X$  臂。



(3) 将  $R$  置于零, 被检损耗角读数盘的示值为零, 平衡电桥。

(4) 对每一被检损耗角读数盘的示值增量调节  $R$  及电容读数盘, 重新平衡电桥, 根据每次  $R$  的值, 按式  $\operatorname{tg} \delta = \omega RC$  计算相应的  $\operatorname{tg} \delta$ , 从而便确定了损耗角读数盘的误差。



## 2 迭代法检定电桥 (见图 3)

### 2.1 测试方法和计算公式

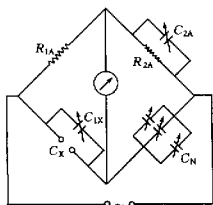


图 3

设电容读数盘共有  $m$  个, 按示值的大小顺次给各盘编号, 这里用罗马字 I、II……表示示值。根据上述假设, 则名义上第  $i$  个盘的示值  $I_i$  和第  $(i+1)$  的示值  $X_{(i+1)}$  是相同的。

$i$  和  $(i+1)$  分别表示盘的编号。

要对桥臂  $C_N$  的电容读数盘的示值进行检定, 则应当在  $C_X$  臂接入一个辅助电容箱, 以保持电桥平衡。要求该电容箱的覆盖范围和电容读数盘的示值一致, 并且具有良好的短期稳定性。

把一个名义值和  $I_i$  [即  $X_{(i+1)}$ ] 相同的且已知数值的电容器  $C_1$  分别与  $I_i$  及  $X_{(i+1)}$  比较时, 则得到:

$$X_{(i+1)} = C_1 + \delta_1 \quad (1)$$

$$I_i = C_1 + \delta'_1 \quad (2)$$

式中  $\delta_1$ —— $X_{(i+1)}$  与  $C_1$  的差值;

$\delta'_1$ —— $I_i$  与  $C_1$  的差值。

而后, 又可把  $X_{(i+1)} + I_i$  同  $II_i$  相比较, 得到:

$$X_{(i+1)} + I_i - II_i = \delta_3 \quad (3)$$

式中  $\delta_3$ ——为  $X_{(i+1)} + I_i$  与  $II_i$  的差值。

再把  $II_i + X_{(i+1)}$  与  $III_i$  相比较, 得到

$$X_{(i+1)} + II_i - III_i = \delta_4 \quad (4)$$

式中  $\delta_4$ ——为  $X_{(i+1)} + II_i$  与  $III_i$  之差值。

依此类推, 得到如下一系列等式:

$$X_{(i+1)} + III_i - IV_i = \delta_5 \quad (5)$$

$$X_{(i+1)} + IV_i - V_i = \delta_6 \quad (6)$$

$$X_{(i+1)} + V_i - VI_i = \delta_7 \quad (7)$$

$$X_{(i+1)} + VI_i - VII_i = \delta_8 \quad (8)$$

$$X_{(i+1)} + VII_i - VIII_i = \delta_9 \quad (9)$$

$$X_{(i+1)} + VIII_i - IX_i = \delta_{10} \quad (10)$$

$$X_{(i+1)} + IX_i - X_i = \delta_{11} \quad (11)$$

式中  $\delta$  为相应的差值, 由测量得到。

由式 (1) 和 (2), 按已知的  $C_1$  值及  $\delta_1$ 、 $\delta'_1$  能计算出  $X_{(i+1)}$  和  $I_i$  的值。因此, 顺序利用式 (3) 至 (11) 便可计算出  $II_i$ 、 $III_i$ …… $X_i$  的值, 也就实现了对第  $i$  个盘的检定。

2.2 在电桥进行零平衡之后, 检定第  $i$  个盘的测试步骤如下:

(1) 把  $C_1$  接入  $C_X$  臂, 将  $X_{(i+1)}$  和  $C_1$  相比较, 读取差值  $\delta'_i$ 。

(2) 把  $L_i$  和  $C_1$  相比较, 读取差值  $\delta'_i$ 。

$L_i$ ——第  $i$  个盘的示值;

$X_{(i+1)}$ ——第  $(i+1)$  个盘的示值。

(3) 用辅助电容箱替代  $C_1$ , 并使电容箱上的示值名义上和  $X_{(i+1)} + K_i$  或  $(K+1)_i$  一致。

$K_i$ ——表示  $i$  盘的某一示值;

$(K+1)_i$ ——相邻的下一个示值。

然后顺序把  $X_{(i+1)} + K_i$  和  $(K+1)_i$  相比较, 并读取相应的差值。

相应差值之间的差异对  $C_1$  的比值不大于  $(1-2) \times 10^{-5}$  时, 则认为测试是可靠的, 并取两次测试平均值作为测试结果, 这样就完成了对  $i$  个盘的检定。

为了对小于 1000pF 盘进行检定, C3020 电桥要求对 100pF 盘进行检定的误差小于  $\pm 0.01\%$ , 因此要求作标准读数用的小可变电容器读数细度至少为  $\pm 0.002 \sim \pm 0.005\text{pF}$  (要求可变电容器的电容值和刻度尺成线性关系的刻度下)。

(三) 变压器电桥的检定方法及步骤

### 1 桥体内附标准电容器组的检定

#### 1.1 外观检查及信号源频率误差的检查。

1.2 用 1000pF 标准电容器来校准内附标准电容器 1000pF, 其余内附标准电容器 100pF、10pF、1pF、0.1pF、0.01pF 采用自校。

外接标准电容器 1000pF (年稳定性为  $\pm 2 \times 10^{-5}$ ) 调节内附标准电容器 1000pF 的微调电容, 使之与外附标准电容器的偏差小于  $\pm 3 \times 10^{-5}$ 。

1.3 自校: 桥内六组标准电容器以一定精度在比例变压器上以 10:1、10:1 地平衡校正。

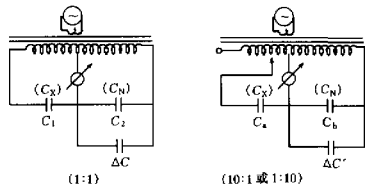


图 4

以 1000pF 校正 100pF 时, 1000pF 接到被测边满电压 1/10 抽头, 100pF 接到标准边满电压抽头, 其余四组电容器接到中心抽头, 这时调节电导和 100pF 微调电容使电桥平衡, 这两个电容器自校就完成了。

以后进行 100pF 和 10pF 自校, 以此类推, 直到六组电容器比较完成。

### 2 变压器比例的校验 (见图 4)

注: 按本规程 27.2.1 中 1:1 误差校验及按本规程 27.2.2 中 1:10 误差校验。

#### 2.1 1:1 的比差校验

(1) 将  $C_1$  接入被测边,  $C_2$  接入标准边, 调节电桥平衡, 记下电桥读数  $\Delta_1$ 。

(2)  $C_1$ 、 $C_2$  互换位置, 重新调电桥平衡, 记下电桥读数  $\Delta_2$ 。

(3) 按下列公式计算:

$$\alpha = -\frac{1}{2} (\delta_1 + \delta_2)$$

$$\beta = \frac{1}{2} (D_1 + D_2)$$

## 2.2 10:1 (或 1:10) 的比差校验

- (1) 被测端接入标准电容器 100pF, 标准端接入标准电容器 10pF。
- (2) 电容量程开关  $C_{\max}$  放在  $10^4$ pF、 $C_N$  倍率放在 10 的位置。
- (3) 调节电桥平衡, 读取差值  $\Delta$ 。
- (4) 按下列公式计算:

$$\delta_{K_{10}} = \delta_X - \delta_N - \frac{\Delta}{10C_N}$$

- 式中  $C_X$ ——接入电桥被测端的电容器的标称值;  
 $C_N$ ——接入电桥标准端的电容器的标称值;  
 $\delta_X$ —— $C_X$  的相对调整误差;  
 $\delta_N$ —— $C_N$  的相对调整误差。

### 附录 3 原始记录格式

#### 一、原始记录封面格式

##### 交流电桥检定原始记录

送检单位:		
电桥型号:	准确度级别:	
出厂编号:	检定误差:	
检定方法:	接线方式:	
主要仪器:		
1.		
2.		
3.		
检定条件:	1. 室温 (°C)	2. 湿度 (%)
检定结果的评定:		
主 任:		
检定员:		
检定证书或通知书的编号	核 验:	
年 月 日		

## 二、整体检定电桥的记录格式

### 1 电源检定记录

电源频率	示 值				
	实际值				
电桥电压	示 值				
	实际值				

### 2 基本（全检）量程（K）\_\_\_\_\_×\_\_\_\_\_盘

测量参数	电桥示值 ( $X_B$ )	标准器实 际值 ( $X_S$ )	$\Delta = X_B - X_S$	$\delta = \frac{\Delta}{X_B} \%$	允许极 限误差
R (r)					
L (Q)					
C (D)					

## 附录 4 交流电桥中的术语和定义

下列诸定义适用于本规程

### 1 量程 (Effective range)

对一个给定的量程系数，电桥能以规定的准确度进行测量的最低与最高量值之间的阻抗范围。

### 2 总量程 (Overall effective range)

使用所有量程因数，都能以规定的准确度进行测量的总的量值范围。

### 3 干扰量 (Influence quantity)

易于引起读数盘示值发生不希望有的变化的量。

### 4 参考条件 (Reference Conditions)

是某些规定的条件，在这些条件下电桥满足基本误差的要求。

### 5 标称使用范围 (Nominal range of use)

引起变差不超过规定的极限值时，各干扰量的规定取值范围。

### 6 定标值 (Fiducial Value)

为了规定电桥的准确度，供各量程参比的一个单值，一个给定的量程的定标值，即为该

量程内最大的 10 的整数幂。

7 误差 (Error)

电桥读数盘的示值减去被测量的真值所得到的值。

8 基本误差 (Intrinsic error)

在参考条件下确定的误差。

9 级别指数 (Class index)

表示准确度级别的数字。

附录 5

表 1 电桥各十进盘误差分配及数据化整

被检电桥级别	0.001		0.002		0.005		0.01		0.02		0.1	0.5
	盘数		七盘	六盘	七盘	六盘	六盘	五盘	六盘	五盘	四盘	四盘
盘序												
1	允许误差	$5 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$		$2 \times 10^{-5}$		$5 \times 10^{-5}$		$1 \times 10^{-4}$		$5 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-3}$
	化整误差	$1 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-6}$		$5 \times 10^{-6}$		$1 \times 10^{-5}$		$2 \times 10^{-5}$		$1 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$
2	允许误差	$1 \times 10^{-5}$		$2 \times 10^{-5}$		$5 \times 10^{-5}$		$1 \times 10^{-4}$		$2 \times 10^{-4}$		$10^{-3}$
	化整误差	$2 \times 10^{-6}$		$5 \times 10^{-6}$		$1 \times 10^{-5}$		$2 \times 10^{-5}$		$1 \times 10^{-4}$		
3	允许误差	$1 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$10^{-3}$	$5 \times 10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$
	化整误差	$2 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$		$2 \times 10^{-4}$		
4	允许误差	$2 \times 10^{-4}$		$10^{-3}$	$5 \times 10^{-4}$	$10^{-3}$	$5 \times 10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
	化整误差	$2 \times 10^{-5}$			$5 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$						
5	允许误差	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	—
6	允许误差	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^{-1}$	—	$10^{-1}$	—	—
7	允许误差	$10^{-1}$	—	$10^{-1}$	—	$10^{-1}$	—	—	—	—	—	—

表 2 电桥量程系数允许误差

被检电桥级别	允许误差	化整误差	被检电桥级别	允许误差	化整误差
0.001	$3 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$	0.05	$1 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-5}$
0.002	$5 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-6}$	0.1	$3 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-5}$
0.005	$1 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-6}$	0.2	$5 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$
0.01	$3 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-6}$	0.5	$1 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-4}$
0.02	$5 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$			