



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 244—2003

感应分压器

Inductive Voltage Divider

2003 - 09 - 23 发布

2004 - 03 - 23 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

感应分压器检定规程

Verification Regulation of

Inductive Voltage Divider

JJG 244—2003

代替 JJG244—1981

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2003 年 09 月 23 日批准，并自 2004 年 03 月 23 日起施行。

归 口 单 位： 全国电磁计量技术委员会

主要起草单位： 中国计量科学研究院

本规程委托全国电磁计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

何小兵 （中国计量科学研究院）

参加起草人：

丁 诚 （中国计量科学研究院）

目 录

1 范围	(1)
2 概述	(1)
2.1 感应分压器结构	(1)
2.2 传递比率的定义	(1)
2.3 传递比率误差	(3)
3 计量性能要求	(3)
4 通用技术要求	(3)
4.1 外观	(3)
4.2 绝缘电阻	(4)
4.3 耐压试验	(4)
5 计量器具控制	(4)
5.1 检定条件	(4)
5.2 检定项目	(5)
5.3 检定方法	(5)
5.4 检定结果处理	(10)
5.5 检定周期	(10)
附录 A 感应分压器检定证书内页格式	(11)
附录 B 感应分压器检定原始记录格式 (两次平衡参考电势增量法)	(13)
附录 C 感应分压器检定原始记录格式 (对检法)	(15)
附录 D 用对检法检定时高、低端引线压降的消除方法	(17)
附录 E 感应分压器传递比率误差公式推导	(19)

感应分压器检定规程

1 范围

本规程适用于自耦式和隔离式音频感应分压器、感应式音频衰减器以及感应式音频电压比率器的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 概述

2.1 感应分压器结构

单盘感应分压器从结构上是在一个公共磁环上由几个紧密耦合绕组串联起来提供电压比率的器件，它具有分压比接近匝比的特点。图1所示为一个自耦式感应分压器，当输入端①、②之间加上输入电压 $\dot{U}_1$ 时，在输出端④、⑤之间可给出被分出的电压 $\dot{U}_2$ 。与此同时，输出端③和分压输出端⑤之间的电压 $\dot{U}_1 - \dot{U}_2$ 与 $\dot{U}_2$ 的比可作为电桥比率使用。

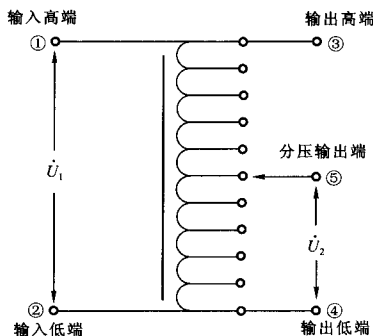


图1 单盘感应分压器结构原理图

多盘感应分压器是包括几个单盘感应分压器的电压迭加电路，各盘的电压按一定的比率衰减，因此可以获得连续可调的分压输出，其结构原理如图2所示，图2（a）是串联连接方式，图2（b）是并联连接方式，图2（c）是隔离式连接方式。

2.2 传递比率的定义

感应分压器传递比率（亦称为感应分压器分压系数）定义为开路输出电压复数量与输入电压复数量的比值，如式（1）所示：

$$\text{感应分压器传递比率} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} \quad (1)$$

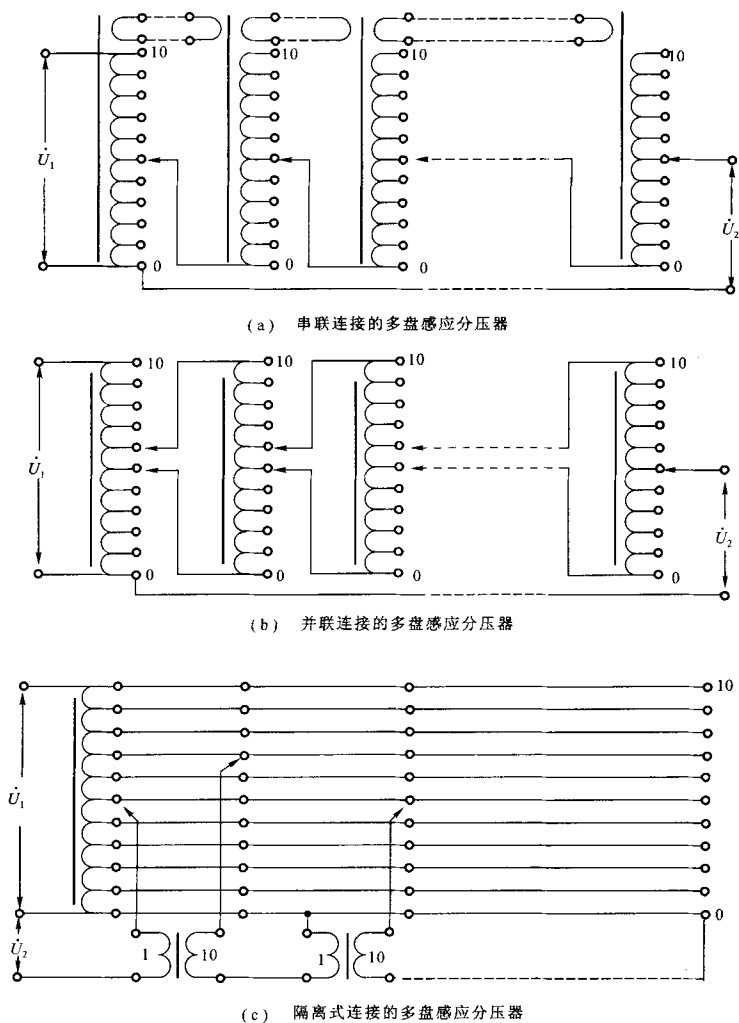


图2 多盘感应分压器结构原理图

式中： $\dot{U}_2$ ——感应分压器开路输出电压复数量；

$\dot{U}_1$ ——感应分压器输入电压复数量。

2.3 传递比率误差

感应分压器传递比率误差定义为：

$$e = \frac{\dot{U}_0 - \dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\Delta \dot{U}}{\dot{U}_1} \quad (2)$$

式中： $\dot{U}_0$ ——感应分压器开路输出电压复数量的标称值；

$\Delta \dot{U}$ ——感应分压器开路输出电压复数量标称值的误差值。

由于感应分压器传递比率误差是一个包含同相分量 e_p 和正交分量 e_q 的复数量，所以，传递比率误差应采用这个复数量的模 $|e|$ 来表示：

$$|e| = \sqrt{e_p^2 + e_q^2} \quad (3)$$

式中： e_p ——感应分压器传递比率误差的同相分量；

e_q ——感应分压器传递比率误差的正交分量。

传递比率误差的同相分量一般用科学标记法表示，传递比率误差的正交分量表示相移的关系（即输出电压复数量相对于输入电压复数量的相移），故以弧度或微弧度表示，也可以用相应的科学标记法表示。传递比率误差的模亦用科学标记法表示（见表1）。

表1 感应分压器准确度等级和传递比率误差模的极限

准确度等级	传递比率误差模的极限
1×10^{-8}	$\pm 1 \times 10^{-8}$
2×10^{-8}	$\pm 2 \times 10^{-8}$
5×10^{-8}	$\pm 5 \times 10^{-8}$
1×10^{-7}	$\pm 1 \times 10^{-7}$
2×10^{-7}	$\pm 2 \times 10^{-7}$
5×10^{-7}	$\pm 5 \times 10^{-7}$
1×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-6}$
.....	

3 计量性能要求

感应分压器的准确度用传递比率误差模的极限来确定，其准确度等级及相应的传递比率误差模的极限列于表1，为了便于验证，在提供的检定证书中应同时给出同相误差分量和正交误差分量。感应分压器的准确度与频率有关，允许感应分压器在不同的频率下给出不同的准确度等级。

4 通用技术要求

4.1 外观

感应分压器的结构应牢固可靠，仪器面板和外壳无明显的机械损伤，各项标志应齐全、清晰。所有开关应定位准确、操作灵活。在感应分压器面板或外壳上应有铭牌，铭牌内容应有名称、型号、生产厂家、编号和出厂日期。

4.2 绝缘电阻

直流绝缘电阻应在 $500 (1 \pm 10\%) \text{ V}$ 或者线路绝缘电压（即标称线路电压：可加给仪器线路的对地最高电压，在此电压下，仪器不致于发生接触危险） $\pm 10\%$ 的电压（取两电压中较大的一个）下测量，在不作任何连接的任意两点间测得的绝缘电阻应不小于 $500 \text{ M}\Omega$ 。

4.3 耐压试验

将所有测量线路端钮连接在一起与仪器外壳间做耐压试验，应能承受表 2 规定电压值 1min 的耐压试验（正弦波、50Hz）。

表 2 测量线路的标称线路电压（线路绝缘电压）和试验电压

测量线路的标称线路电压（线路绝缘电压）/V	试验电压（有效值）/kV
50	0.5
250	1.5
650	2.0
1000	3.0
2000	5.0
3000	7.0
4000	9.0
5000	11.0
6000	13.0
.....	

5 计量器具控制

计量器具控制包括：首次检定、后续检定和使用中检验。

5.1 检定条件

5.1.1 检定用设备

5.1.1.1 感应分压器检定装置由标准多盘感应分压器、参考分压器、辅助分压器、屏蔽保护分压器、微差补偿器、交流指零仪等设备组成。

5.1.1.2 用标准多盘感应分压器对准确度较低的感应分压器进行相对法检定。标准多盘感应分压器的最大允许误差不大于被检感应分压器最大允许误差的 $1/5$ 。

5.1.1.3 用参考分压器（辅助分压器）对准确度较高的感应分压器进行参考电势法检定。

5.1.2 环境条件

环境温度： $(20 \pm 10) ^\circ\text{C}$ ；

相对湿度： $(10 \sim 60)\%$ 。

输入电压：制造厂规定电压的 $\pm 5\%$ 。

频率：制造厂规定频率的 $\pm 2\%$ 。

外磁场：地磁场强度。

输入电压失真系数： 1% 。

5.2 检定项目

检定项目见表3。

表3 检定项目表

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检验
外观	+	+	+
示值	+	+	+
绝缘电阻	+	+	+
电压试验	+	-, *	-

注：表中“+”表示检定，“-”表示不检定，“*”表示修理后须检定。

5.3 检定方法

5.3.1 外观检查

感应分压器外观检查应符合本规程第4.1条要求。

5.3.2 示值检定

5.3.2.1 参考电势法检定

参考电势法通常是对准确度较高的感应分压器（如与最高计量标准同等级）进行检定时采用的检定方法。

(1) 典型参考电势法

检定原理线路如图3所示。

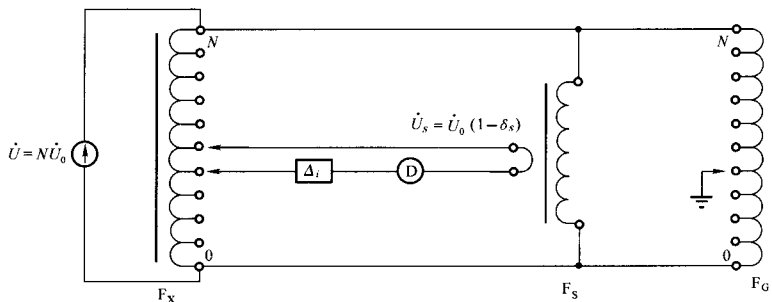


图3 参考电势法原理线路图

F_X —被检定感应分压器； F_G —屏蔽保护电位分压器； F_S —参考分压器； $\dot{U}$ —电源电压； $\dot{U}_0$ — $1/N$ 段电压的标称值； $\dot{U}_s$ —参考电势； N —感应分压器的总段数； Δ_i —微差补偿器（给出同相分量和正交分量）； $\Delta_i = N\dot{U}_0\dot{\gamma}_i$ ；其中 $\dot{\gamma}_i = e_i + j\epsilon_i$ ； D —指零仪

用参考分压器的副边电压（即参考电势）与被检感应分压器的各段电压进行比较，

可得:

$$\delta_s = \sum_{i=1}^N \dot{\gamma}_i \quad (4)$$

$$\delta_i = N \dot{\gamma}_i - \sum_{i=1}^N \dot{\gamma}_i \quad (5)$$

式中: δ_i ——参考电势的误差;

δ_i ——被检分压器第 i 段的段误差。

则被检感应分压器的传递比率误差 (亦称抽头误差) 为:

$$e_{i,IN} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (N \dot{\gamma}_i - \sum_{i=1}^N \dot{\gamma}_i) \quad (6)$$

$$e_{i,OUT} = \frac{1}{i} \sum_{i=1}^i \delta_i = \frac{1}{i} \sum_{i=1}^i (N \dot{\gamma}_i - \sum_{i=1}^N \dot{\gamma}_i) \quad (7)$$

式 (6) 是折算到输入端的传递比率误差, 式 (7) 是折算到输出端的传递比率误差。按 GB9091-88 规定, 感应分压器的传递比率误差应折算到输入端。而在某些场合下需应用式 (7)。

典型参考电势法是基于在检定过程中参考电势误差不变的假定 (即 δ_s 为常数), 但事实上是有变化的, 特别是在工作频率较高时, 这个变化将明显地降低检定准确度。

(2) 两次平衡参考电势增量法

检定原理线路如图 4 所示。

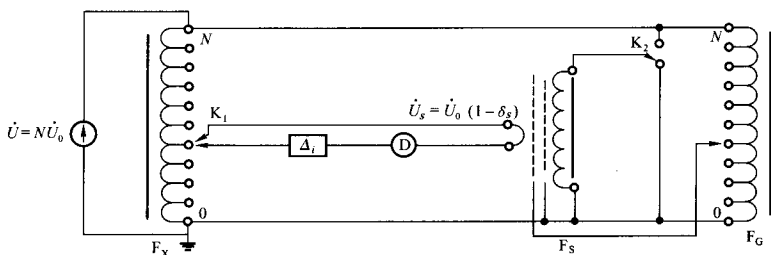


图 4 两次平衡参考电势增量法原理线路图

用两次平衡参考电势增量法对被检感应分压器的每一段电压进行检定时需作两次平衡, 图中 K_1 、 K_2 为状态同步开关, 第一次平衡称为“零平衡”, 把参考分压器原边短路, 即把图中开关 K_2 打到向下的位置, 同时开关 K_1 打到被检定段的低电端, 然后调节微差补偿器使指零仪指零, 并读取微差补偿器上的示值 $\dot{\gamma}_{i,0}$ [$\dot{\gamma}_{i,0}$ 中的下角标 i 表示被检定段 ($i=1 \sim N$); 0 表示“零平衡”操作]; 第二次平衡称为“段平衡”, 需把图中开关 K_2 打到向上的位置 (在回路中加入参考电势), 同时开关 K_1 打到被检定段的高电端, 调节微差补偿器使批零仪指零, 再次读取微差补偿器上的示值 $\dot{\gamma}_i$ [$\dot{\gamma}_i$ 中的下角

标 i 表示被检定段 ($i=1\sim N$)。对于 N 段分压器,需做 N 次“零平衡”和 N 次“段平衡”。显然,两次平衡后得到的读数之差值,消除了参考电势误差变化的影响,提高了检定准确度。

误差计算公式如下:

$$\delta_s = - \sum_{i=1}^N (\dot{\gamma}_i - \dot{\gamma}_{i,0}) \quad (8)$$

$$\delta_i = N(\dot{\gamma}_i - \dot{\gamma}_{i,0}) - \sum_{i=1}^N (\dot{\gamma}_i - \dot{\gamma}_{i,0}) \quad (9)$$

式中: $\dot{\gamma}_i$ ——在做第 i 段“段平衡”时, 微差补偿器的读数;

 $\dot{\gamma}_{i,0}$ ——在做第 i 段“零平衡”时，微差补偿器的读数。

把式 (9) 代入式 (6) 即得到被检感应分压器传递比率误差。

(3) 两次平衡参考电势对检法

检定原理线路如图 5 所示。

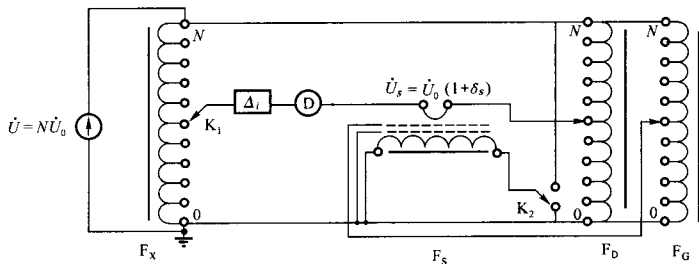


图 5 两次平衡参考电势对检法原理线路图

两次平衡参考电势对检法与两次平衡参考电势增量法基本相似, 从图 5 可以看出, 由于增加了一个辅助分压器 F_D , 被检感应分压器只需有一个滑动抽头即可。当检定多盘感应分压器时, 这个方法具有明显的优点。同步开关 $K_1 - K_2$ 也是用来给出“零平衡”和“段平衡”两种位置以取得参考电势增量的。

当进行“零平衡”时,把参考分压器原边短路,即把图中开关 K_2 打到向下的位置,同时开关 K_1 打到被检定段的低电位端,辅助分压器 F_D 输出端的滑动头和屏蔽保护电位分压器 F_C 输出端的滑动头始终与同步开关 $K_1 - K_2$ 打到向下的位置时保持一致,调节微差补偿器,使指零仪指零,并读取微差补偿器上的示值 $\dot{\gamma}_{i,0}$ [$\dot{\gamma}_{i,0}$ 中的下角标 i 表示被检定段 ($i = 1 \sim N$); 0 表示“零平衡”操作]。

当进行“段平衡”时，把图中开关 K_2 打到向上的位置（在回路中加入参考电势），同时开关 K_1 打到被检定段的高电位端，而辅助分压器 F_D 输出端的滑动头和屏蔽保护电位分压器 F_C 输出端的滑动头仍然保持在“零平衡”时的位置，再调节微差补偿器使指

零仪重新平衡, 再次读取微差补偿器上的示值 $\bar{\gamma}_i$ [$\bar{\gamma}_i$ 中的下角标 i 表示被检段 ($i = 1 \sim N$)]。

对于 N 段分压器, 需做 N 次“零平衡”和 N 次“段平衡”。误差计算公式与式 (8) 和式 (9) 完全相同。

(4) 互检法

当有两台准确度相对较低的多盘串级连接的感应分压器时, 可用互检法进行相互检定, 该方法与两次平衡参考电势对检法相似。

将两台串级连接的多盘感应分压器 A 和 B, 按图 6 所示线路连接, 检定过程与两次平衡参考电势对检法基本相似。首先按图 6 (a) 所示做 $i-1$ 段的“零平衡”, 然后将 B 分压器的第二盘置 10 (参考电压), 按图 6 (b) 所示做“段平衡”。将微差补偿器上“段平衡”时的读数值减去“零平衡”时的读数值便得到 A 分压器第一盘第 i 段电压与参考电势的差值。图示电路需做 10 次“零平衡”和 10 次“段平衡”, 按照两次平衡参考电势对检法的计算方法, 就可以求出 A 分压器第一盘各段电压的段误差 δ_{iA} 和传递比率误差 e_{iA} 。同理, 以 B 分压器第三盘总电压作为参考电势, 可以对 A 分压器的第二盘进行检定; 以 B 分压器第四盘总电压作为参考电势, 可以对 A 分压器的第三盘进行检定; 依此类推。

若将 A 分压器作为参考分压器, 同样可以检定 B 分压器。

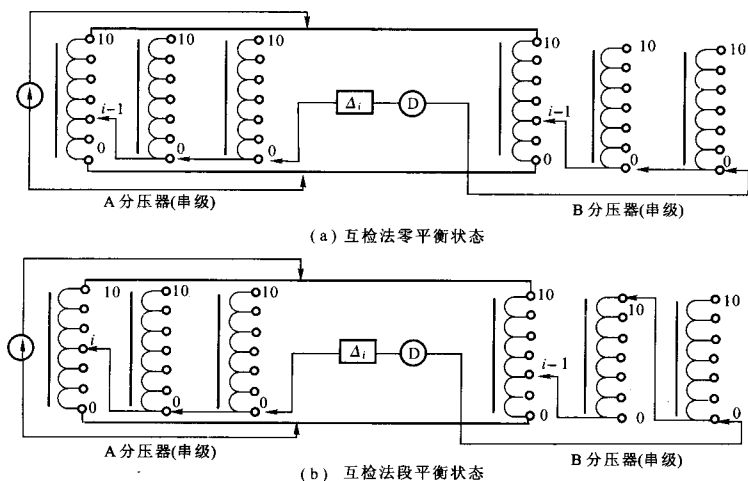


图 6 互检法检定原理线路图

5.3.2.2 对检法检定

当被检感应分压器准确度较低时 (即当标准感应分压器的最大允许误差小于或等于

被检感应分压器最大允许误差的 1/5 时), 应采用对检法检定。用对检法可以对感应分压器进行整体检定, 检定原理线路如图 7 所示。

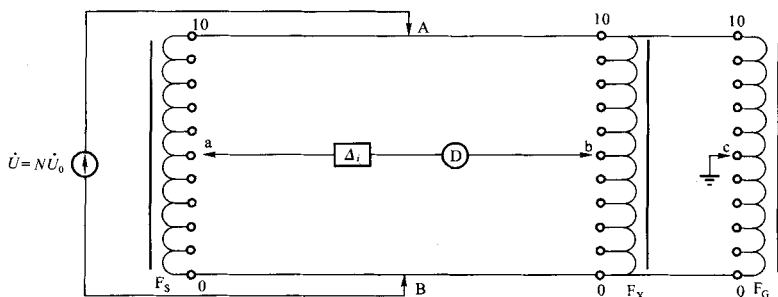


图 7 对检法检定原理线路图

设标准感应分压器的传递比率误差为 e_n , 被检感应分压器的传递比率误差为 e_{xi} , 对于检定第 i 抽头时, 用微差补偿器补偿其差值使指零仪指零, 并读取该差值, 则可得:

$$e_{xi} = e_n - \gamma_i \quad (10)$$

若 e_n 可忽略, 则有:

$$e_{xi, IN} = -\gamma_i \quad (11)$$

式中: i —被检分压器输出抽头序号。

式 (11) 是折算到输入端的传递比率误差, 若要折算到输出端, 则有:

$$e_{xi, OUT} = -\frac{N}{i} \gamma_i \quad (12)$$

被检定点的选择: 如由 m 个单盘十进感应分压器组成的一个 m 盘感应分压器, 则它的示值组合数有 10^m 个, 如 $m=8$, 则示值组合数目可达 10^8 个, 要逐个检定是不可能的。按照实际情况分析, 根据目前感应分压器的指标和结构特点, 一般来说, 在选择被检定点时可分为两部分, 第一部分是单盘检定, 即对前三个盘分别进行单盘检定。第二部分是组合检定, 即选择一些具有代表性的组合值, 用以检查盘与盘之间的各种影响。

引线压降的消除: 用对检法检定感应分压器时, 应考虑并消除高、低端引线压降的影响, 附录 D 介绍了几种消除引线压降的方法。

5.3.2.3 单盘过渡法检定

以 $N=7, 8, 9, 10, 11, 12$ 的单盘感应分压器作为标准, 把被检多盘感应分压器的示值设置到表 4 所列的相应数值上进行检定, 其差值由微差补偿器读出, 这样就实现了对多盘感应分压器的整体检定。

5.3.4 绝缘电阻测试

应符合本规程第 4.2 条规定。测试应在施加电压后 (1~2) min 之间进行。

5.3.5 耐压试验测试

应符合本规程第 4.3 条规定。试验电压应平稳上升到表 2 规定值, 在此阶段中不应出现明显的瞬变现象。保持 1min, 然后平稳地降低到零。在耐压试验测试中不应出现击穿或飞弧现象。试验后仪器应能正常工作。

表 4 不同 N 值的单盘感应分压器各抽头 (n_i) 相应的比率值 (E_i)

E_i n_i \ N	7	8	9	10	11	12
1	0.14285714	0.12500000	0.11111111	0.10000000	0.09090909	0.08333333
2	0.28571428	0.25000000	0.22222222	0.20000000	0.18181818	0.16666666
3	0.42857142	0.37500000	0.33333333	0.30000000	0.27272727	0.25000000
4	0.57142857	0.50000000	0.44444444	0.40000000	0.36363636	0.33333333
5	0.71428571	0.62500000	0.55555555	0.50000000	0.45454545	0.41666666
6	0.85714285	0.75000000	0.66666666	0.60000000	0.54545454	0.50000000
7	1.00000000	0.87500000	0.77777777	0.70000000	0.63636363	0.58333333
8		1.00000000	0.88888888	0.80000000	0.72727272	0.66666666
9			1.00000000	0.90000000	0.81818181	0.75000000
10				1.00000000	0.90909090	0.83333333
11					1.00000000	0.91666666
12						1.00000000

5.3.6 数据处理

以被检感应分压器最大允许误差的 1/10 为单位, 按数据修约规则进行修约。

5.3.7 判断被检感应分压器是否合格, 以处理后的数据为准。

5.4 检定结果处理

按本规程要求检定合格的感应分压器发给检定证书, 检定不合格的发给检定结果通知书。

5.5 检定周期

感应分压器的检定周期一般不超过 2 年。

附录 A

感应分压器检定证书内页格式

示值误差

示 值	e_p ()	e_q ()	$ e $ ()	示 值	e_p ()	e_q ()	$ e $ ()
0.0000000				0.12500000			
0.1000000				0.25000000			
0.2000000				0.37500000			
0.3000000				0.62500000			
0.4000000				0.75000000			
0.5000000				0.83333333			
0.6000000				0.87500000			
0.7000000				0.09090909			
0.8000000				0.18181818			
0.9000000				0.27272727			
1.0000000				0.36363636			
0.0100000				0.45454545			
0.0200000				0.54545454			
0.0300000				0.63636363			
0.0400000				0.72727272			
0.0500000				0.81818181			
0.0600000				0.90909090			
0.0700000				0.11111111			
0.0800000				0.22222222			
0.0900000				0.33333333			
0.1000000				0.44444444			
0.0010000				0.55555555			
0.0020000				0.66666666			
0.0030000				0.77777777			
0.0040000				0.88888888			
0.0050000				0.99999999			
0.0060000				0.0999999 (10)			
0.0070000				0.1999999 (10)			
0.0080000				0.2999999 (10)			
0.0090000				0.3999999 (10)			
0.0100000				0.4999999 (10)			
0.0009000				0.5999999 (10)			
0.0099009				0.6999999 (10)			
0.9900990				0.7999999 (10)			
0.9990010				0.8999999 (10)			
0.85714286				0.9999999 (10)			

检定条件 电压：_____ V； 频率：_____ Hz
温度：_____ ℃； 湿度：_____ %RH

备 注

检定日期： 年 月 日

有效期至： 年 月 日 检定员：_____ 核验员：_____

注：可根据不同的被检仪器给出相应的检定数据。

附录 B

感应分压器检定原始记录格式 (两次平衡参考电势增量法)

送检单位:		温度: ℃; 湿度: %RH
送检仪器名称:		标准装置名称:
型号:	出厂编号:	装置的标准号:
生产厂:		标准装置的扩展不确定度 ($k =$):
技术指标:	上次检定日期:	检定的依据:
检定结论:		

示值检定

被检分 压器输 出端抽 头序号	零平衡时 补偿器示值 $\dot{\gamma}_{i,0} (\times 10^{-8})$		段平衡时 补偿器示值 $\dot{\gamma}_i (\times 10^{-8})$		$\dot{\gamma}_i - \dot{\gamma}_{i,0}$ ($\times 10^{-8}$)		参考电势 误差 $\delta_i (\times 10^{-8})$		被检定段 误差 $\delta_i (\times 10^{-8})$		输出端 抽头误差 $e_i (\times 10^{-8})$	
	e_p	e_q	e_p	e_q	e_p	e_q	e_p	e_q	e_p	e_q	e_p	e_q
0			/	/	/	/			/	/		
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10	/	/										
	$\sum_{i=1}^N e_{p(i-1)}$ =	$\sum_{i=1}^N e_{q(i-1)}$ =	$\sum_{i=1}^N e_{pi}$ =	$\sum_{i=1}^N e_{qi}$ =			$\delta_i =$ $-\left(\sum_{i=1}^N \dot{\gamma}_i - \sum_{i=1}^N \dot{\gamma}_{i-1}\right)$		$\delta_i =$ $N(\dot{\gamma}_i - \dot{\gamma}_{i-1}) - \delta_i$		$e_{i, in} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i$	

传递比率误差模值 ($\times 10^{-8}$)

抽头序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$ e = \sqrt{e_p^2 + e_g^2}$										

检定条件 电压：_____ V； 频率：_____ Hz
备 注

检定日期： 年 月 日
有效期至： 年 月 日 检定员：_____ 核验员：_____

附录 C

感应分压器检定原始记录格式（对检法）

送检单位：		温度：℃；湿度：%RH
送检仪器名称：		标准装置名称：
型号：	出厂编号：	装置的标准号：
生产厂：		标准装置的扩展不确定度（ $k =$ ）：
技术指标：	上次检定日期：	检定的依据：
检定结论：		

示值检定

示 值	e_p ()	e_q ()	$ e $ ()	示 值	e_p ()	e_q ()	$ e $ ()
0.0000000				0.12500000			
0.10000000				0.25000000			
0.20000000				0.37500000			
0.30000000				0.62500000			
0.40000000				0.75000000			
0.50000000				0.83333333			
0.60000000				0.87500000			
0.70000000				0.90909090			
0.80000000				0.18181818			
0.90000000				0.27272727			
1.00000000				0.36363636			
0.01000000				0.45454545			
0.02000000				0.54545454			
0.03000000				0.63636363			
0.04000000				0.72727272			
0.05000000				0.81818181			
0.06000000				0.90909090			
0.07000000				0.11111111			
0.08000000				0.22222222			
0.09000000				0.33333333			
0.10000000				0.44444444			
0.00100000				0.55555555			
0.00200000				0.66666666			
0.00300000				0.77777777			
0.00400000				0.88888888			
0.00500000				0.99999999			

续表

示 值	e_p ()	e_q ()	$ e $ ()	示 值	e_p ()	e_q ()	$ e $ ()
0.00600000				0.0999999 (10)			
0.00700000				0.1999999 (10)			
0.00800000				0.2999999 (10)			
0.00900000				0.3999999 (10)			
0.01000000				0.4999999 (10)			
0.00090000				0.5999999 (10)			
0.00990099				0.6999999 (10)			
0.99009900				0.7999999 (10)			
0.99900100				0.8999999 (10)			
0.85714286				0.9999999 (10)			

检定条件
备 注

电压：_____ V； 频率：_____ Hz

检定日期： 年 月 日

有效期至： 年 月 日 检定员：_____ 核验员：_____

附录 D

用对检法检定时高、低端引线压降的消除方法

用对检法检定感应分压器时,应考虑并消除高、低端引线压降的影响,下面介绍几种消除引线压降的方法:

(1) 用检定装置中附有的零位调节系统来消除引线压降。检定时应将电源输出引线固定地接在被检分压器的输入端上。

(2) 将被检分压器和标准分压器的输入端以直径约 1mm、长约 1m 的裸铜线相对连接,如图 7 所示,滑动 A、B 端,可以使 A 点到 F_s 的压降与 A 点到 F_x 的压降相互抵消,同样可以让 B 点到 F_s 的压降与 B 点到 F_x 的压降相互抵消。具体的操作步骤是:首先将滑动头 a、b、c 分别放置于 F_x 、 F_s 和 F_c 的 0 端,滑动 B 端使指零仪指零,在滑动 B 端的同时,利用微差补偿器上的正交分量作为辅助调节,使同相分量指示为零,这时 A 点即达到所要求的位置。然后将滑动头 a、b、c 分别放置于 F_x 、 F_s 和 F_c 的 10 端,滑动 A 端使指零仪指零,在滑动 A 端的同时,利用微差补偿器上的正交分量作为辅助调节,使同相分量指示为零,这时 A 点即达到所要求的位置。至此, F_s 的输入端电压与 F_x 的输入端电压是一致的。在调节过程中,如果注意到两根引线的空间面积尽可能减小和相对固定的话,则这个调节方法效果甚佳,在整个音频范围内都适用。

(3) 对采用组合铁心结构的感应分压器,将标准感应分压器的测量绕组和激磁绕组分别接至被检分压器的输入端上,以减小引线压降的影响。

(4) 用微差补偿器测出引线压降的影响量后进行修正。设高端引线压降对于输入电压的影响量为 $\dot{\gamma}_N$, 则该影响量将对感应分压器示值产生 $A_i \dot{\gamma}_N$ 的影响 (A_i 为感应分压器示值), 因此, 将感应分压器各点示值的误差减去 $A_i \dot{\gamma}_N$, 就可消除该影响量对感应分压器示值误差的影响。同样, 设低端引线压降对于输入电压的影响量为 $\dot{\gamma}_0$, 则该影响量将对感应分压器示值产生 $(1 - A_i) \dot{\gamma}_0$ 的影响, 因此, 将感应分压器各点示值的误差减去 $(1 - A_i) \dot{\gamma}_0$, 就可消除该影响量对感应分压器示值误差的影响。

修正后感应分压器各点的示值误差 ϵ_i 为:

$$\epsilon_i = \dot{\gamma}_i + \{ - (1 - A_i) \dot{\gamma}_0 \} + (-A_i \dot{\gamma}_N)$$

式中: $\dot{\gamma}_0$ ——低端引线压降的影响量;

$\dot{\gamma}_N$ ——高端引线压降的影响量;

$\dot{\gamma}_i$ ——感应分压器在第 i 点时微差补偿器的读数。

十进感应分压器引线压降修正举例示于下表。

引线压降修正举例

感应分压 器示值 A_i	有引线压降时 的示值误差 $\gamma_i (\times 10^{-9})$	低端引线修正量 $-(1-A_i)\dot{\gamma}_0$	高端引线修正量 $-A_i\dot{\gamma}_N$	无引线压降时 的示值误差 $\epsilon_i (\times 10^{-9})$
0	-10	$-(1-0) \times (-10) = 10$	$0 \times (-20) = 0$	0
0.1	-16	$-(1-0.1) \times (-10) = 9$	$0.1 \times (-20) = -2$	-9
0.2	-12	$-(1-0.2) \times (-10) = 8$	$0.2 \times (-20) = -4$	-8
0.3	-3	$-(1-0.3) \times (-10) = 7$	$0.3 \times (-20) = -6$	-2
0.4	+2	$-(1-0.4) \times (-10) = 6$	$0.4 \times (-20) = -8$	0
0.5	+6	$-(1-0.5) \times (-10) = 5$	$0.5 \times (-20) = -10$	+1
0.6	+11	$-(1-0.6) \times (-10) = 4$	$0.6 \times (-20) = -12$	+3
0.7	+17	$-(1-0.7) \times (-10) = 3$	$0.7 \times (-20) = -14$	+6
0.8	+22	$-(1-0.8) \times (-10) = 2$	$0.8 \times (-20) = -16$	+8
0.9	+27	$-(1-0.9) \times (-10) = 1$	$0.9 \times (-20) = -18$	+10
1.0	+20	$-(1-1.0) \times (-10) = 0$	$1.0 \times (-20) = -20$	0

附录 E

感应分压器传递比率误差公式推导

1. 典型参考电势法

设被检感应分压器 F_X 的各段电压为 $\dot{U}_i$ ，它与其标称值电压 $\dot{U}_0$ 的相对误差为 δ_i 。若用一个参考分压器提供一段参考电势 $\dot{U}_s$ ，它的标称值电压亦等于 $\dot{U}_0$ ， $\dot{U}_s$ 与 $\dot{U}_0$ 的相对误差恒为 δ_s 。以参考电势 $\dot{U}_s$ 与各段电压 $\dot{U}_i$ 逐段比较，调节微差补偿器使回路平衡，则有：

$$\dot{U}_i + \Delta_i = \dot{U}_s \quad (1)$$

$$\text{因为 } \dot{U}_i = \dot{U}_0 (1 - \delta_i)$$

$$\Delta_i = N \dot{U}_0 \dot{\gamma}_i$$

$$\dot{U}_s = \dot{U}_0 (1 - \delta_s)$$

所以式 (1) 可写为：

$$\dot{U}_0 (1 - \delta_i) + N \dot{U}_0 \dot{\gamma}_i = \dot{U}_0 (1 - \delta_s) \quad (2)$$

将式 (2) 化简，得：

$$\delta_i - N \dot{\gamma}_i = \delta_s \quad (3)$$

i 从 1 ~ N ，因此得到类似式 (3) 的 N 个方程式，并把它们相加，得：

$$\sum_{i=1}^N \delta_i - N \sum_{i=1}^N \dot{\gamma}_i = N \delta_s \quad (4)$$

由于 $\sum_{i=1}^N \delta_i \equiv 0$ ，于是从式 (4) 可得到参考电势误差：

$$\delta_s = - \sum_{i=1}^N \dot{\gamma}_i \quad (5)$$

将式 (5) 代入式 (3)，可得到被检分压器各段电压的误差：

$$\delta_i = N \dot{\gamma}_i - \sum_{i=1}^N \dot{\gamma}_i \quad (6)$$

由于感应分压器的传递比率 E_i (亦称分压系数) 为：

$$\begin{aligned} E_i &= \frac{\dot{U}_0(1 - \delta_1) + \dot{U}_0(1 - \delta_2) + \cdots + \dot{U}_0(1 - \delta_i)}{N \dot{U}_0} \\ &= \frac{i - \sum_{i=1}^i \delta_i}{N} \\ &= \frac{i}{N} \left(1 - \frac{1}{i} \sum_{i=1}^i \delta_i \right) \end{aligned} \quad (7)$$

因此, 感应分压器的传递比率误差 (亦称抽头误差) 为:

$$e_{i,IN} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^i \delta_i \quad (8)$$

$$e_{i,OUT} = \frac{1}{i} \sum_{i=1}^i \delta_i \quad (9)$$

式 (8) 是折算到输入端的传递比率误差, 式 (9) 是折算到输出端的传递比率误差。

2. 两次平衡参考电势增量法

当进行“零平衡”时, 回路残余电压相对于段电压之比为 $\delta_{i,0}$, 该电压相对量由微差补偿器读出 ($\dot{\gamma}_{i,0}$), 于是有:

$$N \dot{U}_0 \dot{\gamma}_{i,0} = - \dot{U}_0 \delta_{i,0}$$

即:
$$\delta_{i,0} = - N \dot{\gamma}_{i,0} \quad (10)$$

需做 N 次“零平衡”, 并将它们相加, 可得:

$$\sum_{i=1}^N \delta_{i,0} = - N \sum_{i=1}^N \dot{\gamma}_{i,0} \quad (11)$$

当进行“段平衡”时, 有:

$$\delta_i - N \dot{\gamma}_i = \delta_{i,0} + \delta_i \quad (12)$$

式中: δ_i ——被检分压器第 i 段的段误差;

$\dot{\gamma}_i$ ——在做第 i 段“段平衡”时, 微差补偿器的读数;

$\delta_{i,0}$ ——参考电势的误差。

需做 N 次“段平衡”, 并将它们相加, 可得:

$$\sum_{i=1}^N \delta_i - N \sum_{i=1}^N \dot{\gamma}_i = \sum_{i=1}^N \delta_{i,0} + N \delta_i \quad (13)$$

把式 (11) 代入式 (13), 并考虑到 $\sum_{i=1}^N \delta_{i,0} = 0$, 式 (13) 可写为:

$$N \sum_{i=1}^N \dot{\gamma}_i = N \sum_{i=1}^N \dot{\gamma}_{i,0} - N \delta_i \quad (14)$$

所以

$$\delta_i = - \sum_{i=1}^N (\dot{\gamma}_i - \dot{\gamma}_{i,0}) \quad (15)$$

把式 (10) 和式 (15) 代入式 (12), 得:

$$\delta_i = N(\dot{\gamma}_i - \dot{\gamma}_{i,0}) - \sum_{i=1}^N (\dot{\gamma}_i - \dot{\gamma}_{i,0}) \quad (16)$$

3. 两次平衡参考电势对检法

当进行“零平衡”时, 把参考分压器原边短路, 即把图 5 中开关 K_2 打到向下的位置, 同时开关 K_1 打到被检定段的低电位端, 因此有:

$$N \dot{\gamma}_{1,0} = - \delta_{i(1,0)} - \lambda_{0,0} \quad (17-1a)$$

$$N \dot{\gamma}_{2,0} - \delta_1 = - \delta_{i(2,0)} - \lambda_{0,0} - \eta_1 \quad (17-2a)$$

$$\begin{aligned} & \vdots \\ N\dot{\gamma}_{i,0} - \delta_1 - \cdots - \delta_i &= -\delta_{s(i,0)} - \lambda_{0,0} - \eta_1 - \cdots - \eta_i \quad (17-ia) \\ & \vdots \end{aligned}$$

$$N\dot{\gamma}_{N,0} - \delta_1 - \cdots - \delta_{N-1} = -\delta_{s(N,0)} - \lambda_{0,0} - \eta_1 - \cdots - \eta_{N-1} \quad (17-Na)$$

式中： $\lambda_{0,0}$ ——由零位引线引入的误差， $\lambda_{0,0}$ 下角标第一个“0”表示零位，第二个“0”表示“零平衡”操作；

δ_i ——被检分压器的段误差；

$\dot{\gamma}_{i,0}$ ——微差补偿器在第*i*段时的“零平衡”读数；

$\delta_{s(i,0)}$ ——在第*i*段做“零平衡”操作时参考绕组残余电压与段电压之比；

η_i ——辅助分压器的段误差；

N ——感应分压器的总段数。

当进行“段平衡”时，即把图5中开关 K_2 打到向上的位置，在回路中加入参考电势，同时开关 K_1 打到被检定段的高电位端，于是有：

$$N\dot{\gamma}_1 - \delta_1 = -\delta_{s(1,0)} - \delta_s - \lambda_{0,0} \quad (18-1b)$$

$$N\dot{\gamma}_2 - \delta_1 - \delta_2 = -\delta_{s(2,0)} - \delta_s - \lambda_{0,0} - \eta_1 \quad (18-2b)$$

$$\vdots$$

$$N\dot{\gamma}_i - \delta_1 - \delta_2 - \cdots - \delta_i = -\delta_{s(i,0)} - \delta_s - \lambda_{0,0} - \eta_1 - \cdots - \eta_i \quad (18-ib)$$

$$\vdots$$

$$N\dot{\gamma}_N - \delta_1 - \delta_2 - \cdots - \delta_N = -\delta_{s(N,0)} - \delta_s - \lambda_{0,0} - \eta_1 - \cdots - \eta_{N-1} \quad (18-Nb)$$

式中： $\dot{\gamma}_i$ ——微差补偿器在第*i*段“段平衡”时的读数（ $i=1 \sim N$ ）；

δ_s ——参考电势的误差。

由（18-1b）-（17-1a），（18-2b）-（17-2a），…（18-ib）-（17-ia），…（18-Nb）-（17-Na），得：

$$(N\dot{\gamma}_1 - N\dot{\gamma}_{1,0}) - \delta_1 = -\delta_s \quad (19-1c)$$

$$(N\dot{\gamma}_2 - N\dot{\gamma}_{2,0}) - \delta_2 = -\delta_s \quad (19-2c)$$

$$\vdots$$

$$(N\dot{\gamma}_i - N\dot{\gamma}_{i,0}) - \delta_i = -\delta_s \quad (19-ic)$$

$$\vdots$$

$$(N\dot{\gamma}_N - N\dot{\gamma}_{N,0}) - \delta_N = -\delta_s \quad (19-Nc)$$

将式（19-1c）~式（19-Nc）相加，得：

$$N \sum_{i=1}^N (\dot{\gamma}_i - \dot{\gamma}_{i,0}) - \sum_{i=1}^N \delta_i = -N\delta_s \quad (20)$$

由于 $\sum_{i=1}^N \delta_i \equiv 0$ ，于是从式（20）可得到参考电势误差：

$$\delta_i = - \sum_{i=1}^N (\dot{\gamma}_i - \dot{\gamma}_{i,0}) \quad (21)$$

将式 (21) 分别代入式 (19-1c) ~ 式 (19-Nc), 可以得到:

$$\delta_i = N(\dot{\gamma}_i - \dot{\gamma}_{i,0}) - \sum_{i=1}^N (\dot{\gamma}_i - \dot{\gamma}_{i,0}) \quad (22)$$

4. 对检法检定

用对检法可以对感应分压器进行整体检定。设标准感应分压器的传递比率误差为 e_n , 被检感应分压器的传递比率误差为 e_{xi} , 对于检定第 i 抽头时, 用微差补偿器补偿其差值, 使指零仪指零, 并读取该差值。可得:

$$e_{xi} = e_n - \dot{\gamma}_i \quad (23)$$

若 e_n 可忽略, 则有:

$$e_{xi,IN} = - \dot{\gamma}_i \quad (24)$$

式中: i ——被检分压器输出抽头序号。

式 (24) 是折算到输入端的传递比率误差, 而折算到输出端的误差则为:

$$e_{xi,OUT} = - \frac{N}{i} \dot{\gamma}_i \quad (25)$$