



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 505—2004

直流比较仪式电位差计

D.C. Comparator Potentiometers

2004 - 03 - 02 发布

2004 - 09 - 02 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

直流比较仪式电位差计 检 定 规 程

Verification Regulation of

D.C. Comparator Potentiometers

JJG 505—2004
代替 JJG 505—1987

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2004 年 03 月 02 日批准，并自 2004 年 09 月 02 日起施行。

归口单位： 全国电磁计量技术委员会

起草单位： 黑龙江省计量检定测试院

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：

王 勇 （黑龙江省计量检定测试院）

参加起草人：

杨 威 （黑龙江省计量检定测试院）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量性能要求	(2)
4.1 准确度等级	(2)
4.2 基本误差	(2)
4.3 电势漂移	(3)
4.4 低频噪声	(3)
4.5 跟踪误差	(3)
4.6 非线性误差	(3)
4.7 初级电流恒定性	(3)
4.8 电流调节盘指标	(3)
4.9 纹波电压	(3)
4.10 初级最大输出电压	(3)
4.11 检流计及其回路开关指标	(3)
5 通用技术要求	(3)
5.1 外观结构	(3)
5.2 绝缘电阻	(3)
5.3 介电强度	(3)
6 计量器具控制	(4)
6.1 检定条件	(4)
6.2 检定项目	(4)
6.3 检定方法	(5)
6.4 检定结果的处理	(11)
6.5 检定周期	(12)
附录 A 线性度自检表格	(13)
附录 B 线性度自检计算公式的推导	(17)
附录 C 检定证书及检定结果通知书内页格式	(19)

直流比较仪式电位差计检定规程

1 范围

本规程适用于磁势自动平衡的直流比较仪式电位差计和多功能直流比较仪的电位差计部分（以下简称比较仪式电位差计或电位差计）的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 引用文献

GB3927—1983《直流电位差计》

JB/T8611—1997《直流电位差计》

使用本规程时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 概述

比较仪式电位差计是通过改变自动平衡直流电流比较仪中测量绕组的匝数来调节并确定恒定测量电阻上的直流电流，从而获得连续可变的补偿电压的定阻变流式电位差计。

其原理线路如图 1。工作原理是：初级可变的测量绕组与次级有微调的固定绕组各自流过恒定直流电流与可变直流电流，它们在铁心上产生方向相反的磁势，其磁势差由检测绕组检出，并通过有差闭环调节系统调节从动（伺服）电源产生的次级电流使磁势

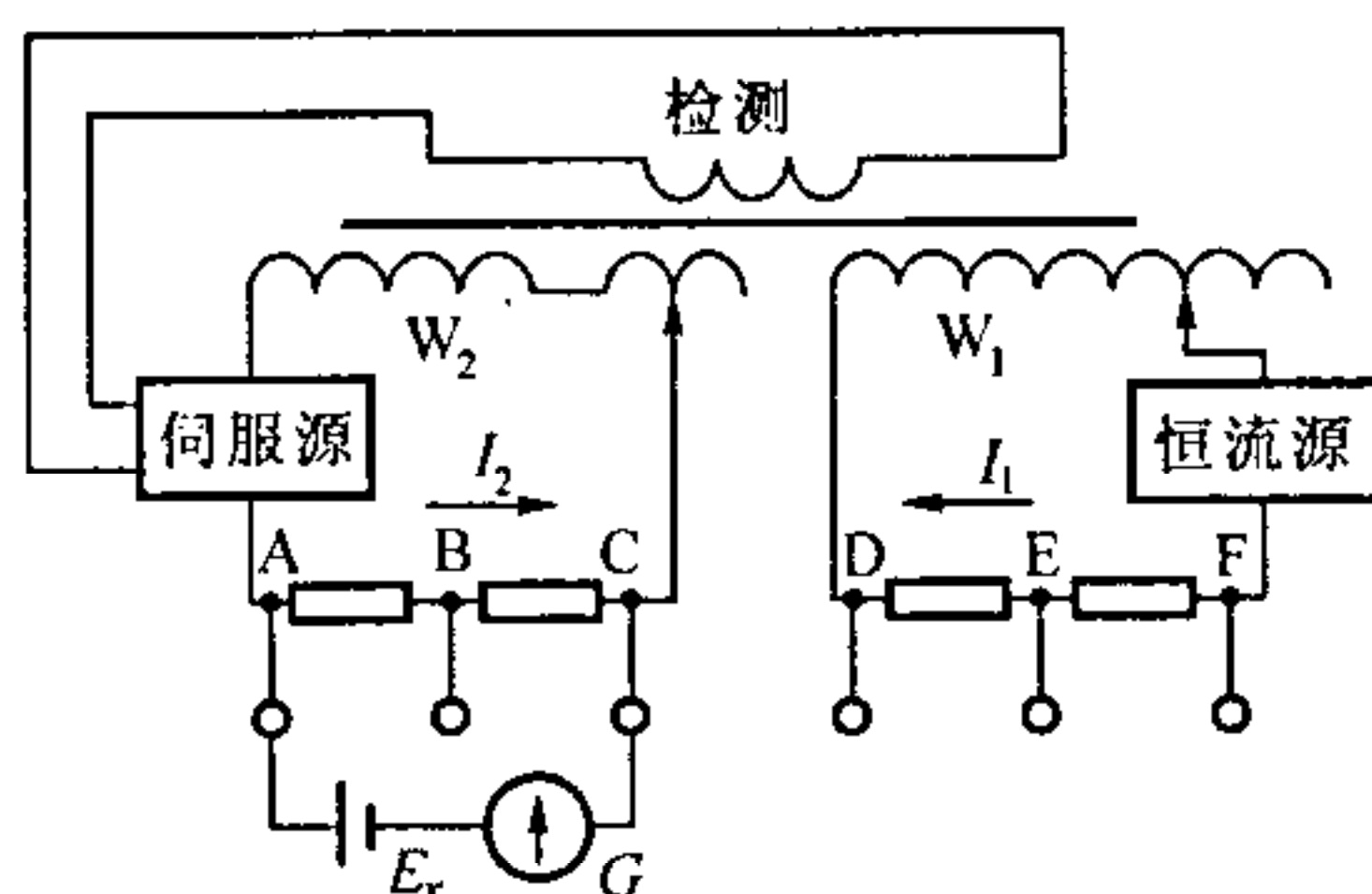


图 1 比较仪式电位差计原理线路

W_1 ——初级可变绕组，即测量盘； W_2 ——次级有微调的固定绕组

自动平衡。在用标准电池调定了电位差计工作电流之后，初级电流与次级绕组匝数就完全恒定了，因次级电流跟初级匝数成正比，所以次级回路中测量电阻上的补偿电压就等于测量时的初级匝数与调定时的初级匝数之比乘以标准电池的电动势，这就是用匝数比代替电阻比的比较仪式电位差计的工作原理。其公式推导如下：

a. 调定工作电流

将标准电池接在测量电阻 R_{AC} 两端，测量盘 W_1 的示值置于温度修正后的标准电池

电势 E_n ，调恒流源电流 I_1 或次级微调匝，即校正（或校准）盘，使检流计指零，此时初级匝数为 W_{1n} ，次级电流为 I_{2n} ，次级匝数为 W_{2n} ，则

$$E_n = I_{2n} R_{AC} \quad (1)$$

$$I_1 W_{1n} = I_{2n} W_{2n} \quad (2)$$

b. 测量未知电势

将被测电势 E_x 接在 R_{AC} 上，保持初级电流与次级匝数不变，调测量盘使检流计指零，此时初级匝数为 W_{1x} ，次级电流为 I_{2x} ，则

$$E_x = I_{2x} R_{AC} \quad (3)$$

$$I_1 W_{1x} = I_{2x} W_{2n} \quad (4)$$

(3) 式除以 (1) 式，(4) 式除以 (2) 式，得

$$E_x = \frac{I_{2x}}{I_{2n}} E_n \quad (5)$$

$$\frac{W_{1x}}{W_{1n}} = \frac{I_{2x}}{I_{2n}} \quad (6)$$

所以

$$E_x = \frac{W_{1x}}{W_{1n}} E_n \quad (7)$$

(7) 式就是比较仪式电位差计的基本关系式，它说明被测电势仅与测量盘的匝数比及标准电池电势有关。但由推导过程可以看出： I_1 、 I_2 、 R_{AC} 等从调定电流到测量时的微小变化，都会使 (7) 式不完全成立，所以为保证它的测量准确度，不仅对测量盘的线性度要进行检定，还要对其它指标进行检定。

注：有些比较仪式电位差计说明书上规定，首先将标准电池接在初级调定电阻 R_{DF} 上调定工作电流，然后再将标准电池电势 E_n 从 R_{DF} 传递到 R_{AC} 上，这和标准电池直接接在 R_{AC} 上是等效的，但这样做比较麻烦。

4 计量性能要求

4.1 准确度等级

比较仪式电位差计的准确度等级 C 分为 0.00005, 0.0001, 0.0002, 0.0005, 0.001 级，不同量程准确度等级可以不同。

4.2 基本误差

在标准条件下，经预热 1h，在校准（调定工作电流）后的 10min 内，电位差计的基本误差的允许极限为：

$$E_{lim} = \pm \frac{C}{100} \left(X + \frac{U_n}{10} \right)$$

式中： E_{lim} ——基本误差的允许极限值，V；

C ——准确度等级，以百分数表示；

X ——测量盘示值，V；

U_n ——基准值，V，为各该量程内 10 的最高整数幂。

基本误差中包括换向或即时调零后的残余零电势和残余热电势。

4.3 电势漂移

$$10\text{min 补偿电势的漂移} \leq \frac{0.7C}{100}X + \frac{0.5C}{100} \times \frac{U_n}{10}$$

4.4 低频噪声

$$\text{电位差计低频噪声的峰-峰值} \leq \frac{0.2C}{100}X + \frac{0.3C}{100} \times \frac{U_n}{10}$$

4.5 跟踪误差

$$\text{电位差计的跟踪误差} \leq \frac{0.03C}{100} \left(X + \frac{U_n}{10} \right)$$

4.6 非线性误差

测量盘的非线性误差 $\leq \frac{0.5C}{100}X + \frac{0.5C}{100} \times \frac{U_n}{10}$ ，前两个分数匝盘的分流电阻允许有微调，但制造厂规定的调整周期不得少于1年，并且第一分数匝盘分流电阻的年变化不得大于0.0015%。

4.7 初级电流恒定性

测量盘示值变化时，引起初级电流的变化 $\leq 0.1C\%$

4.8 电流调节盘指标

电位差计初、次级电流调节应连续，调节范围不小于 $\pm 0.1\%$ ，调节细度 $\leq 0.1C\%$ 。

4.9 纹波电压

0.0001级及以上级别电位差计输出电压中的纹波电压有效值 $\leq 1.0\% X_{\max}$ ，接滤波器后纹波电压 $\leq 0.1\% X_{\max}$ ；0.0002级以下放宽一倍要求， $X_{\max}$ 为各该量程的测量上限。

4.10 初级最大输出电压

电位差计初级电路最大对外输出电压 $\geq 7V$ 。

4.11 检流计及其回路开关指标

在无明显机械振动及外回路电阻为 20Ω 时，0.0001级以上电位差计的电压分度值 $C_v \leq 5\text{nV/mm}$ ，0.0002级以下电位差计的 $C_v \leq 10\text{nV/mm}$ ，同时噪声电压的峰峰值 $\leq 10\text{nV}$ ，检流计回路测量功能开关和灵敏度开关动作后的电压变化 $\leq 10\text{nV}$ ，动作15s后漂移电压 $\leq 5\text{nV/min}$ 。

5 通用技术要求

5.1 外观结构

电位差计面板或铭牌上应有产品名称、型号、出厂编号、准确度等级、标志、制造厂名称或商标、制造日期等。各旋钮、开关、端钮应有保证正确使用的标志。外露部件应完好，按键应能锁定，旋转开关应能转到所有工作位置并定位准确。

5.2 绝缘电阻

0.0001级及以上级别电位差计初、次级回路与外壳的绝缘电阻不应低于 $1G\Omega$ ；初、次级间绝缘电阻不应低于 $2G\Omega$ ；0.0002级以下的减半为 $0.5G\Omega$ 和 $1G\Omega$ 。

5.3 介电强度

电源变压器初级与外壳之间应能承受 50Hz、1500V 的实际正弦波交流电压，历时 1min 的耐压试验而不被击穿。

6 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。

6.1 检定条件

6.1.1 检定环境条件

检定的标准条件——温度： $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ；相对湿度：40% ~ 75%；电源电压：220(1 ± 5%)V；电源频率：(50 ± 0.5)Hz，无振动。

6.1.2 检定用设备

6.1.2.1 1h 电势相对漂移不大于 0.2C% 的内阻不超过 800Ω 的标准电池若干只(电位差计每伏输出电压使用电池 1 只；其恒流源备用电池 1 只)，它们可以是：保温或控温准确度不低于 0.1℃/24h 的 0.01 级以上不饱和标准电池；或者是保温或控温准确度不低于 0.01℃/24h 的 0.005 级以上饱和标准电池。

6.1.2.2 工作电压 ≤ 250V，有效量程 ≥ 5GΩ 的绝缘电阻测试仪器(高阻计或高阻电桥等) 1 台，测量误差 ≤ 10%。

6.1.2.3 交流真有效值数字电压表 1 台。

6.1.2.4 耐电压测试仪 1 台。

6.1.2.5 满足第 4.11 条要求的光电放大检流计或其他指零仪组合一套(电位差计无内附检流计或内附检流计不合格时)。

注：线性度的检定用自检方法，即电位差计内同标称值的元件间相互比较，它不需要外部标准器。本条所列标准电池仅作考核补偿电势漂移用。

6.2 检定项目

检定项目见表 1。

表 1 检定项目表

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检验
外观	+	+	+
绝缘电阻	+	-	
介电强度	+	-	-
初、次级工作电流调节范围、细度	抽检	-	-
初、次级工作电流调节连续性	+	+	-
初级最大输出电压	抽检	-	-
测量盘示值变化引起工作电流的变化	+	+	-
跟踪误差	+	+	-
补偿电势的漂移	+	+	+
低频噪声	+	+	-

表 1(续)

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检验
测量盘线性度	+	+	-
纹波电压	+	+ *	-
检流计及其回路开关	+	+	+
整体核验	+	+	+
* 只用作检定其他电位差计时,可不检定。			

表 1 中:“+”表示应予检定,“-”表示可以不检定。与量程因数有关的项目中,补偿电势漂移在测量上限不低于 2.1V 的量程都应检定;线性度和低频噪声仅在最高量程检定即可。

6.3 检定方法

检定时可参考 UJ42 型比较仪式电位差计自检线路图(其他型号的线路与此类同),见图 2。

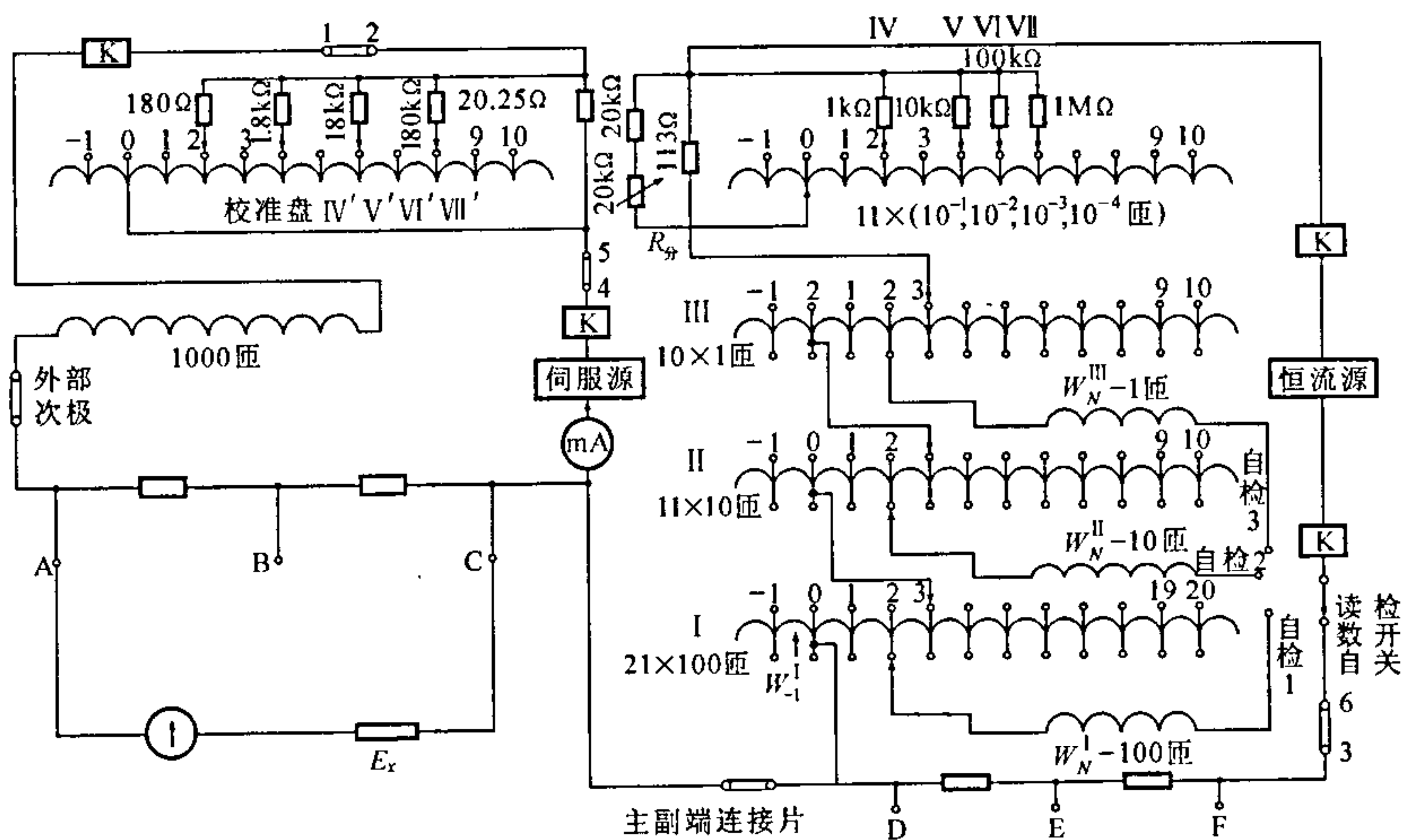


图 2 UJ42 型比较仪式电位差计自检线路图

6.3.1 外观检查

按 5.1 条要求检查,除了新生产的电位差计要求全部完好外,当电位差计的外观缺陷不影响计量性能时应给予检定。

6.3.2 测量功能的检查

将电位差计按正常使用方法联结好侧面端钮板上各端钮,开机后振荡器指示灯应发

光,如果该指示灯不亮,应立即关机检查,故障(包括接线错误)排除后才能重新开机。高、低跟踪调好后,安匝平衡表指针应在允许刻度内,电位差计在零位电势输出状态应能调到零位,并能调定工作电流,能用内部参考电压进行稳定性与电位差计准确度相适应的量程变换,否则必须找出原因,排除故障后才能进行下面的检定。

6.3.3 绝缘电阻测量

在标准温度、湿度条件下稳定 24h 后,去掉电位差计线路与外壳及初、次级间的连接片。用绝缘电阻测量仪器,分别测量初级电路与外壳上导电部件间、次级电路与外壳上导电部件间、初次级电路间的绝缘电阻。

6.3.4 介电强度试验

在标准温度、湿度条件下稳定 24h 后,将电源变压器初级绕组短路,电源变压器次级绕组短路或与线路断开,将耐电压测试仪高电位端接该变压器初级绕组、低电位端接外壳上的导电部件,施加 1500V、50Hz 实际正弦波电压历时 1min 试验,电压上升及下降速率约为 100V/s,不击穿为合格。

6.3.5 初级工作电流调节范围、连续性和调节细度的检查

6.3.5.1 将本规程规定的检定用标准电池按极性接在电位差计未知端上,电位差计示值置于标准电池电势值 E_n ,各初级电流调节盘放在中间步进位置。按下测量 $\times 1$ 和合适的检流计灵敏度按键,使示值变化 1mV 时,检流计偏格变化 $\Delta\alpha$ 在 10mm 以上但不超出标尺,然后将示值退回 E_n ,转动前二个初级电流调节盘分别至两终端位置,则检流计偏格的变化量不低于 $2\Delta\alpha$ 为调节范围合格。

6.3.5.2 在上述状态及合适的检流计灵敏度下,逐步转动每个初级电流调节盘至两终端位置,则一盘中每步进产生的偏格数基本相等,而且下一盘产生偏格数的总和不低于上一盘一个步进产生的偏格数时,则初级电流调节的连续性合格。

6.3.5.3 按下检流计最灵敏键调定工作电流后,转动初级电流调节盘最小改变量的 n 倍,记下检流计的变化格数 $\Delta\alpha$,并由测量盘确定此时的电压分度值 C_v ,则

$$\frac{C_v \Delta\alpha}{nE_n} \leq \frac{0.1C}{100} \quad \text{为调节细度合格。}$$

6.3.6 转动次级各微调盘 N_s ,参照上条三步骤,确定次级工作电流的调节范围、连续性和调节细度。

6.3.7 测量盘示值变化时引起初级工作电流变化的检查

6.3.7.1 初级有调定电阻的电位差计,把检定用标准电池按极性接在电位差计标准端钮上,按下相应的功能开关,使该电池接在调定电阻上,从最低到最高灵敏度用初级电流调节盘调定工作电流,然后转动第 I 测量盘从零至最大示值,找出检流计的最大变化格数 α_m ,则初级电流相对变化 $\gamma_I = \frac{C_v \alpha_m}{E_n}$ 。

6.3.7.2 少数初级无调定电阻的电位差计(如 UJB-2 型),可按图 3 的电路测量 γ_I ,即在电位差计初级输出端串入几只恒温的低温度系数($\alpha \leq 5 \times 10^{-6}$)标准电阻,使其总电阻 R 与初级电流 I_p 之积接近标准电池电势。将标准电池和工作状态的低电势电位差计的测量回路串联后,接到串联电阻的电位端,首先把低电势电位差计示值置于 $(E_n - I_p R)$,

再适当调整该示值,使检流计指零,然后同样转动第 I 测量盘从零至最大示值进行检查。

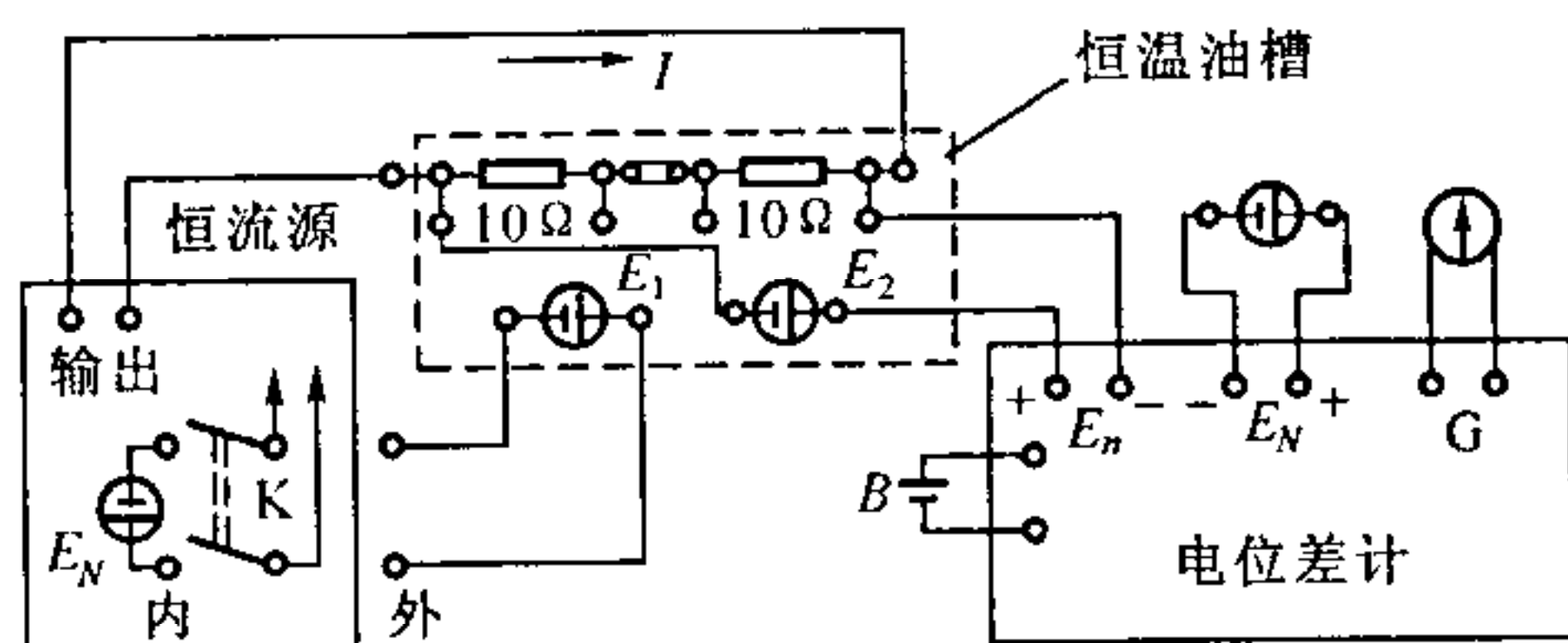


图 3

图 3 为无调定电阻的电位差计测量盘示值变化时引起初级工作电流变化的检查接线图。

6.3.8 初级回路对外最大输出电压的测量

首先在电位差计初级输出端串入元件最大功率 $\geq 0.2\text{W}$ 的接触良好的电阻箱,将阻值预置于零,在测量上限附近调电位差计测量盘示值,使次级电流表指在满刻度线上,逐步增加电阻箱示值,设保持该电流表指针不动的电阻箱示值为 R ,初级电流为 I_p ,则 $I_p R$ 为初级最大对外输出电压。

6.3.9 纹波电压的测量

首先用短导线短路电位差计的检流计端钮,然后将交流真有效值数字电压表接在未知端钮上,按下检流计的最灵敏键,分别在电位差计“滤波”与“未滤波”两种状态下,电位差计最高量程的零示值和测量上限,用数字电压表测量电位差计纹波电压有效值。

6.3.10 磁势平衡表(安匝平衡表、 μAT 表)分度值 C_{AT} 的确定

首先将测量盘示值置于零,测量端钮短路,然后调低跟踪旋钮,使 μAT 表指针指在一条允许偏转的刻度线上,按下测量“ $\times 1$ ”和检流计最灵敏键,调节电位差计调零旋钮,使检流计指零。并调光电放大检流计反馈旋钮使电压分度值 $C_V = 4\text{nV/mm}$,再调低跟踪旋钮,使该指针在另一条允许偏转的刻度线上,此时检流计偏转 α 格,则 $C_{\text{AT}} = \frac{C_V \alpha}{2}$ 格,它应不

大于 $\frac{0.03 C}{100} X_{\text{max}}$ 。

6.3.11 跟踪误差的测量

电位差计调好“高跟踪”、“低跟踪”后,将各整数匝测量盘示值置于零,第一分数匝盘置于最大示值。则从头至尾转动第 I 盘时, μAT 表指针不应超出允许刻度, I 盘为零时从头到尾转动其余整数匝测量盘,该指针偏离零位不应超出允许刻度的 $1/3$ 。

6.3.12 检流计及其回路开关指标的测量

在电位差计“未知”端钮接入 20Ω 过渡电阻或串联的 2 只 10Ω 标准电阻,示值为零,按下测量“ $\times 0.01$ ”或“ $\times 0.1$ ”及检流计正向最灵敏键,示值变化 $0.1\mu\text{V}$,调光电放大器反馈旋钮,使检流计偏转 20mm (0.0001 级以上)或 10mm (0.0002 级以下),则电压分度值 C_V 为

5nV/mm 或 10nV/mm, 开关动作 15s 后观察并记录 5min 的漂移格数 α_{gt} 及最大抖动格数 α_{gm} , 重复三次取漂移格数的平均值, 则它们与 C_V 之积即为 5min 漂移电压和噪声电压。放开再按下作用着的按键立即测量, 再改按检流计反向按钮立即测量, 则上述各种组合下, 电势漂移应 $\leq 10\text{nV}$ 。然后短路电位差计未知端或接入 10Ω 标准电阻 (UJB-2 型), 使“ $\times 1$ ”量程时测量回路电阻为 20Ω 。示值为 0 时, 取下电位差计外部次级连片, 按下测量“ $\times 1$ ”及检流计正、反按键, 同上立即读取其电势漂移, 它也应 $\leq 10\text{nV}$ 。

6.3.13 测量上限时电势漂移与低频噪声的测量

将恒流源的基准电压开关置于“内标准”位置, 将检定用标准电池几只串联后接于电位差计“未知”端钮, 其电动势之和接近电位差计测量上限, 关闭电位差计各活动盖板, 按正常使用开机, 按规定时间预热并校准后, 调电位差计示值为 X_m 时与标准电池电势平衡, 并调 $C_V = 0.1\mu\text{V/mm}$ 或 $0.5\mu\text{V/mm}$ (10V 量程)。然后, 记录 10min 最大抖动格数 α_m 和 10min 后的检流计偏移格数 $\Delta\alpha_i$ (如检流计开路时有零点漂移应予扣除或调回零位), $\Delta\alpha_i$ 与 C_V 之积即为测量上限的漂移电势, α_m 与 C_V 之积, 即为测量上限的噪声电势, 它们分别不大于 $\frac{0.7C}{100}X_m$ 和 $\frac{0.2C}{100}X_m$ 时为合格。

如果内接标准电池时漂移超过规定值, 可将恒流源外接备用的检定用标准电池重新测量, 这时如果合格, 可以更换合适的内接标准电池重新测量, 或者在检定证书上注明: 补偿电势漂移在恒流源外接标准电池时合格, 内接时不合格, 必须更换内附标准电池。

6.3.14 零示值时电势漂移与低频噪声的测量

将测量端钮短路, 在“ $\times 1$ ”量程调 $C_V = 4\text{nV/mm}$, 再用电位差计调零旋钮调好零位, 用检流计正、反按键读得检流计偏格数为 α_1^+ 、 α_1^- , 保持调零旋钮不变, 10min 后重新测得检流计正、反偏格数为 α_2^+ 、 α_2^- , 则 10min 电势漂移为 $[(\alpha_2^+ - \alpha_2^-) - (\alpha_1^+ - \alpha_1^-)] \frac{C_V}{2}$, 观察并找出 10min 内检流计最大抖动格数 α_{Lm} , 则 $\alpha_{Lm}C_V$ 为最大噪声。它们分别不大于 $\frac{0.5C}{100} \times \frac{U_n}{10}$ 和 $\frac{0.3C}{100} \times \frac{U_n}{10}$ 为合格。

6.3.15 测量盘线性度的自检

线性度自检是由各绕组的一系列等值比较来完成的, 包括盘内比较和盘间过渡两部分。方法是将两个标称值相同的绕组在初级回路反向串联, 并通过初级额定电流, 用确定其安匝差在测量电阻上产生的电压降的方法测量其差值, 并计算出其比值, 示意图见图 4。为了使一定的安匝差产生尽可能大的电压降, 应在最高量程因数下自检。

6.3.15.1 自检前的准备

将电位差计“未知”端用清洁的紫铜线(片)短路, 测量盘示值为零, 接通电源预热。

预热 1h 后, 调检流计反馈旋钮使 $C_V = 4\text{nV/mm}$ (0.0002 级以下可以 $C_V = 8\text{nV/mm}$, 当在量程因数“ $\times 10$ ”下自检时 C_V 可酌情降低), 再调好电位差计零位, 并规定在电源正极性时, 测量盘示值增加使检流计偏转的方向为“+”(即自检时被测匝数大于参考匝数), 另一方向为“-”。并且电源负极性时, 上述规定方向不变, 即检流计零点一侧恒为“+”、另

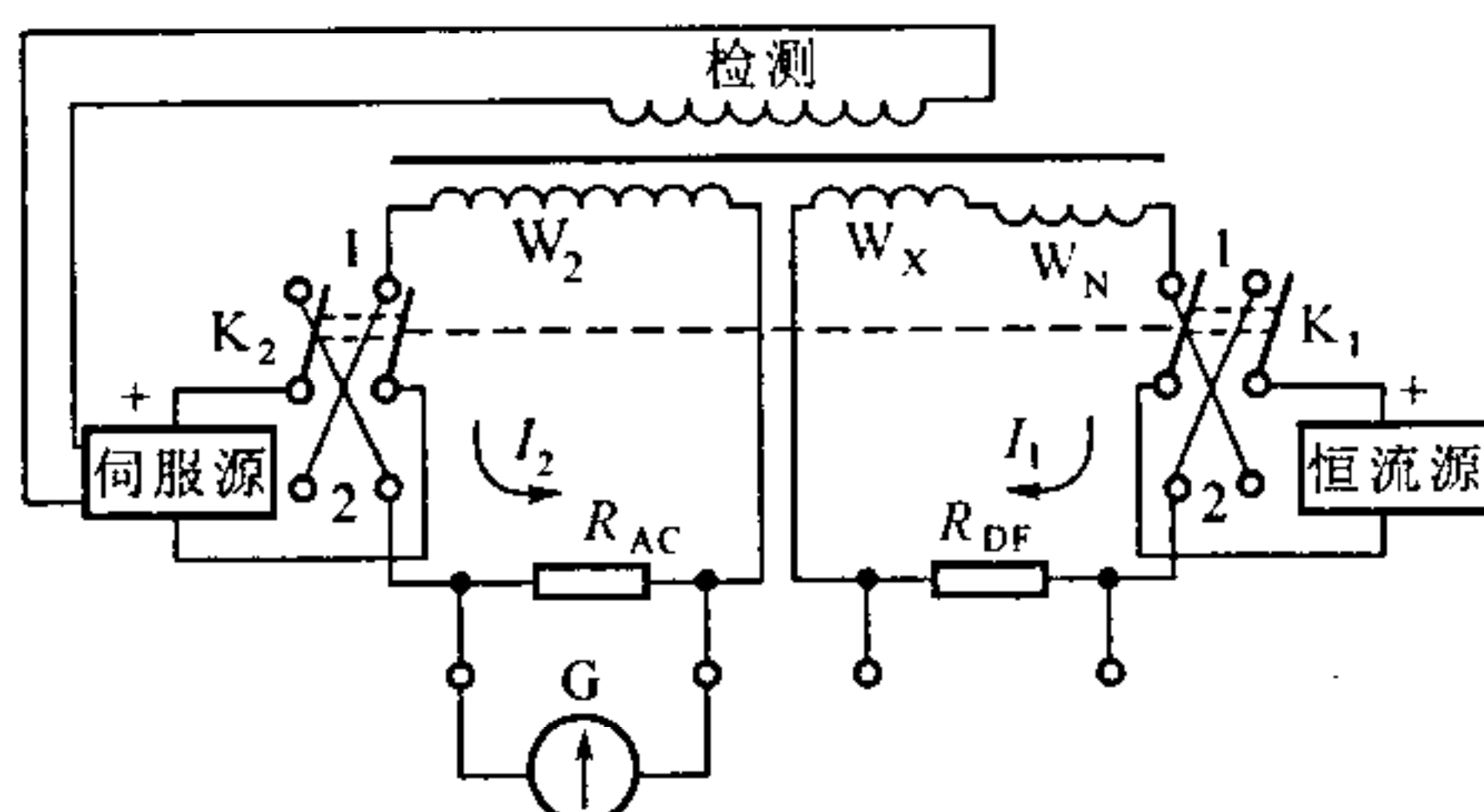


图4 测量盘线性度自检示意图

一侧恒为“-”。

6.3.15.2 整数匝测量盘的盘内比较

按说明书将高跟踪旋钮转到自检时的某一终端位置,以消除高跟踪,按附录表 A.1 的内容进行自检。先将测量/自检开关置于“自检 1”,对第 I 测量盘自检:示值为零时, I 盘 -1~0 绕组与 I 盘参考绕组反串,即 -1 示值与参考标准比较,按下最高量程测量和检流计最灵敏键,在电源正、负两个极性,分别读取检流计偏格数 $\alpha_{-1(+)}^I$ 、 $\alpha_{-1(-)}^I$, 放开检流计按键,然后 I 盘置于 1, 则 1 示值与参考标准比较,同上操作得检流计读数 $\alpha_{1(+)}^I$ 、 $\alpha_{1(-)}^I$, 顺次增加 I 盘示值直至最大,同样在每个示值 i 下读取检流计偏格数 $\alpha_{i(+)}^I$ 、 $\alpha_{i(-)}^I$, 然后重测 -1 和 1 示值各一次。

再将测量/自检开关分别置于自检的其余位置,用各盘的参考绕组与该盘每个绕组比较,同上读取各示值的检流计偏格数 $\alpha_{i(+)}^j$ 、 $\alpha_{i(-)}^j$, 则被检示值与参考标准的差值电压 $\Delta_i^j = \frac{1}{2}(\alpha_{i(+)}^j - \alpha_{i(-)}^j) C_v$, 式中 j 为测量盘盘数。

6.3.15.3 分数匝测量盘的盘内比较

不共用绕组的分数匝测量盘(如 UJB-2 电位差计第 IV 盘)单独进行盘内比较。共用绕组的分数匝盘只进行步进电压最大盘的盘内比较,因为分流电阻的误差不影响盘内比较的结果,它们盘内比较的结果是相等的。

分数匝盘没有单独的参考绕组,它是用下一盘 10 个示值之和做为参考标准与该盘各示值进行等值比较的,但由于它们的磁势是同一方向,所以要按使用说明书将次级回路分数匝反向转移到初级回路,并在以后保持二者匝数相等,以维持初级磁势的标称值为零。

测量/自检开关置于“测量”位置,示值为零时调电位差计调零旋钮使检流计指零。以下一盘 10 个示值之和为参考标准,对上一盘各示值进行递增置换法检定:测量盘 j 、 $j+1$ 盘及次级与 j 盘步进值相等的 j' 盘示值按附录表 A.2 的规律一一置出。在电源正、负极性时读取检流计偏格数 $\alpha_{i(+)}^j$ 、 $\alpha_{i(-)}^j$ (含参考标准时) 和 $\alpha_{i(+)}^{j'}$ 、 $\alpha_{i(-)}^{j'}$ (含被检示值时), 其平均值分别为 $\overline{\alpha_i^j} = \frac{1}{2}(\alpha_{i(+)}^j - \alpha_{i(-)}^j)$ 和 $\overline{\alpha_i^{j'}} = \frac{1}{2}(\alpha_{i(+)}^{j'} - \alpha_{i(-)}^{j'})$, 则被检示值与参考标准的差值电压 $\Delta_i^j = (\overline{\alpha_i^{j'}} - \overline{\alpha_i^j}) C_v$ 。

如果检流计光标有较大偏转,应使次级(或初级)增加或减少几个最小步进,以便使检流计基本回零,但这必须在一个示值置换过程之外,即在两个示值之间进行。

6.3.15.4 盘间过渡

第一分数匝盘一定要在微调前先过渡一次,以便求出年变化,如果 $\Delta_{\Sigma}^j \geq 10\text{nV}$,再将微调电位器调整至 $\Delta_{\Sigma}^j \leq 10\text{nV}$ 重新测量,第二分数匝盘如果有微调,也应调整至 $\Delta_{\Sigma}^{j+1} \leq 5\text{nV}$ 再过渡。

有 -1 示值的电位差计的盘间过渡:

在电位差计的正常测量状态,示值为零,短路“未知”端钮,调好电位差计零位, C_V 仍为 4nV/mm ,然后按附录表 A.3 的内容进行过渡,即 $j-1$ 盘置 -1 示值, j 盘置 10 示值,在电源正、负极性时读取检流计偏格数各两次,电源正极性时偏格平均值为 $\overline{\alpha_{\Sigma(+)}^j}$,负极性时为 $\overline{\alpha_{\Sigma(-)}^j}$,则 j 盘 10 个示值之和对 $j-1$ 盘 -1 示值的差值电压 $\Delta_{\Sigma}^j = \frac{1}{2}(\overline{\alpha_{\Sigma(+)}^j} - \overline{\alpha_{\Sigma(-)}^j}) C_V$ 。

无 -1 示值的电位差计的盘间过渡:

整数匝盘:在 $j-1$ 盘自检状态下,将 j 盘示值置于 10,其余盘示值仍为零,用 $j-1$ 盘参考绕组与它们直接比较两次,同上得电源正、负极性时的两次读数的平均值为 $\overline{\alpha_{\Sigma(+)}^j}$ 、 $\overline{\alpha_{\Sigma(-)}^j}$;分数匝盘:采用分数匝盘盘内比较的前两步,即借助于 $(j-1)'$ 盘 +1 示值的反磁势,将 j 盘 10 个示值之和与 $j-1$ 盘 +1 示值比较两次,得到前者大于后者的平均读数为 $\overline{\alpha_{\Sigma(+)}^j}$ 、 $\overline{\alpha_{\Sigma(-)}^j}$ 。其差值电压的计算同上,但为了区别起见,其差值电压分别以 $\Delta_{\Sigma(N)}^j$ 和 $\Delta_{\Sigma(+)}^j$ 表示。显然,无 -1 示值并已进行过盘内比较的分数匝盘,不必再单独进行本盘与下一盘的盘间过渡,因为 $\Delta_{\Sigma(+)}^j = -\Delta_1^{j-1}$ 。

6.3.16 以 1V 为校准点计算线性度

因为非线性误差在比较仪式电位差计总误差中不占主导地位,用自检得出的线性度修正值修正电位差计没有实际意义,所以为了简化计算,我们以 1V 而不是 1.0186V 为线性度基准点,因此 1V 示值的非线性误差为零。

6.3.16.1 j 盘 i 示值 U_i^j 与该盘 10 个示值之和的比值 K_i^j 的相对修正值 P_i^j 的计算

按附录表 A.1、表 A.2 的自检计算表格进行,即先根据盘内比较时得到的 U_i^j 与参考标准的差值电压 Δ_i^j ,求出其相对差值 $\delta_i^j = \frac{\Delta_i^j}{U^j}$, U^j 为 j 盘步进电压,则

$$P_i^j = \delta_i^j - 0.1 \sum_{i=1}^{10} \delta_i^j$$

P_i^j 应该比 δ_i^j 多取一位,注意 $\sum_{i=1}^{10} P_i^j = 0$,可用于核验计算正确与否。

6.3.16.2 j 盘 10 个示值之和的相对修正值 Q_{Σ}^j 的计算

按附录表 A.3 的盘间过渡表格进行,对用 -1 示值过渡的,先根据盘间过渡时 j 盘 10 个示值之和对 $j-1$ 盘 -1 示值的差值 Δ_{Σ}^j 求出其相对差值 $\delta_{\Sigma}^j = \frac{\Delta_{\Sigma}^j}{U^{j-1}}$, U^{j-1} 为 $j-1$ 盘步进电压,然后利用 $Q_{\Sigma}^1 = 0$ (线性度基准点) 和已经求出的 P_{-1}^j ,根据

$$Q_{\Sigma}^j = Q_{\Sigma}^{j-1} + P_{-1}^{j-1} + \delta_{\Sigma}^j$$

先求出 Q_{Σ}^{II} ，再求出 Q_{Σ}^{III} ，即顺次求出各 Q_{Σ}^j 。

对无 -1 示值而用参考匝和 +1 示值过渡的

$$Q_{\Sigma}^j = Q_{\Sigma}^{j-1} + P_N^{j-1} + \delta_{\Sigma(N)}^j \text{ 和 } Q_{\Sigma}^j = Q_{\Sigma}^{j-1} + P_1^{j-1} + \delta_{\Sigma(+)}^j$$

式中： $P_N^{j-1} = -0.1 \sum_1^{10} \delta_i^{j-1}$ ； $\delta_{\Sigma(N)}^j = \frac{\Delta_{\Sigma(N)}^j}{U^{j-1}}$ ； $\delta_{\Sigma(+)}^j = \frac{\Delta_{\Sigma(+)}^j}{U^{j-1}}$ 。

6.3.16.3 线性度修正值的计算

因为 $U_i^j = K_i^j \sum_1^{10} U_i^j$ ，所以 U_i^j 本身的相对修正值 $\delta U_i^j = P_i^j + Q_{\Sigma}^j$ 。

j 盘 i 示值本身 U_i^j 的非线性修正电压

$$\Delta U_i^j = U^j (P_i^j + Q_{\Sigma}^j)$$

共用一个绕组的分数匝盘，每个盘的 P_i 值都用其最大步进电压盘的已知 P_i 值代入，计算表格为附录表 A.4。

$$j \text{ 盘累加非线性修正电压 } \sum_0^n \Delta U_i^j = \sum_0^n U^j (P_i^j + Q_{\Sigma}^j)$$

这里 U^j 为代数值，即 $n = -1$ 时，步进电压为负。

上述公式概括为“ j 盘 i 示值本身的非线性修正电压等于 j 盘 i 示值对其 10 个示值之和的比值的相对修正值与 j 盘 10 个示值之和的相对修正值加起来再乘以 j 盘步进电压。而 j 盘 10 个示值之和的相对修正值等于 $j-1$ 盘 10 个示值的相对修正值、 $j-1$ 盘 -1（参考、+1）示值与其 10 个示值之和的比值的相对修正值、 j 盘 10 个示值之和对 $j-1$ 盘 -1（参考、+1）示值的相对差值三者之和，其中 I 盘 10 个示值之和的相对修正值为零。

6.3.17 整体核验

上述分项检定是在仪器的非正常使用状态下进行的，所以必须做工作状态下的整体核验。

标准电池法整体核验：取检定用标准电池 m 只，同向串联，它们的电势之和接近电位差计最高量程的测量上限，用电位差计测得其电势为 $\sum_1^m E_i'$ ；电位差计量程不变，再分别测得每个电池的电势为 E_1 、 $E_2 \cdots E_m$ ，最后再测得串联电势为 $\sum_1^m E_i''$ ，则差值

$$\frac{E_1 + E_2 + \cdots + E_m - \frac{1}{2} \left(\sum_1^m E_i' + \sum_1^m E_i'' \right)}{E_1 + E_2 + \cdots + E_m} \leq C\%$$

为整体核验合格，否则，整体核验不合格。

测量时，一定要先在电位差计上放置对应的标准电池电势值，并从检流计最不灵敏键开始逐次增加灵敏度进行测量，以严格保护标准电池不受冲击。

允许用误差不大于 0.3C% 的其他方法进行整体核验。

6.4 检定结果的处理

6.4.1 线性度自检结果的修约与判断

修约原则是：按 $\frac{0.05C}{100} \times U^j$ 和 $0.05\Delta U$ 两者中较大者进行修约， ΔU 为测量盘最小步进电压。修约整后的数据编制线性度修正值表。

以修约后的数据为准，用线性度允差公式判断其是否合格，即第 I、II 盘非线性相对误差的绝对值 $\leq 0.5C\%$ ，III 盘以下非线性绝对误差之和的绝对值 $\leq \frac{0.5C}{100} \times \frac{U_n}{10}$ ，则线性误差合格；如果 II 盘中有超过 $0.5C\%$ 的示值，则在这些示值中选取超出的绝对误差最大值 $\Delta_{\max}^{\text{II}}$ ，即令 $\Delta_{\max}^{\text{II}} = \sum_0^n \Delta U_i^{\text{II}} - 0.5C\% \cdot X$ 为最大，此值与 III 盘以下的各盘绝对误差之和的绝对值 $\leq \frac{0.5C}{100} \times \frac{U_n}{10}$ 时，线性误差仍为合格。

否则为不合格。

6.4.2 整体核验结果的处理

电位差计的各项指标的分项检定都满足本规程的技术要求时，则电位差计误差不大于允许误差，电位差计分项检定合格，而整体核验也合格时，检定结束；分项检定合格而整体核验不合格时，必须找出原因，重做某些项目的检定或重做整体核验，直至二者一致为止；分项检定结论不合格而整体核验合格时，仍认为电位差计不合格，因为整体核验不能体现出电位差计所有的误差因素。

6.4.3 首次检定，所考核的各项指标都符合本规程的技术要求时，电位差计合格；有一项不合格者，电位差计不合格。

6.4.4 后续检定结果的处理

a. 各项指标都符合本规程要求，电位差计合格。

b. 电势漂移的（与示值有关的）可变项和测量盘线性度，有一项不合格，电位差计即不合格。其余指标有一、二项不合格但不超过规程规定指标的一倍者（绝缘电阻不小于规定值的一半），仍认为电位差计合格，但要在证书中注明哪些指标不合格。

c. 如果有三项以上指标不合格，或者虽然一、二项指标不合格但超过规定值一倍时（绝缘电阻小于规定值的一半），电位差计不合格。不合格的电位差计允许降级使用，但必须符合所降等级的所有要求。

6.4.5 电位差计合格，发给检定证书；不合格发给检定结果通知书，并注明不合格的原因。证书或通知书上要给出各项检定的数据，其中线性度要给出修正值表。

6.5 检定周期

检定周期一般不超过 1 年，但线性度可以每 3 年检一次（有微调的分数匝盘的盘间过渡及必要时的微调仍为 1 年），其余 2 年，可以引用 3 年有效期内的原证书或通知书上的线性度修正值，微调了的分数匝盘应根据新的 Q_2 值重新计算并另行给出修正值。

为了考核年稳定性，送检时必须携带上一次检定证书或检定结果通知书。

附录 A

线性度自检表格

被 检 示 值	G 偏格数		$\delta_i^j = \frac{\Delta_i^j}{U^j} = \frac{1}{2}(a_+ - a_-) \frac{C_V}{U^j}$ ($\times 10^{-}$)	$P_i^j = \delta_i^j - 0.1 \sum_{i=1}^{10} \delta_i^j$ ($\times 10^{-}$)	$\Delta U_i^j = U^j(P_i^j + Q_{\Sigma}^j)$ (nV)	$\sum_0^j \Delta U_i^j$ (nV)
	a_+	a_-				
-1						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

表 A.1 整数匝测量盘的线性度自检表

j =

$C_V =$ nV/mm; $0.1 \sum_{i=1}^{10} \delta_i^j =$; $Q_{\Sigma}^j =$

表 A.2 分数量测量盘的线性度自检表

j =

被检示值	有关盘示值			G 偏格数		$\bar{\alpha}_s = \frac{1}{2}(\alpha_s^+ - \alpha_s^-)$ $\bar{\alpha}_s = \frac{1}{2}(\alpha_s^+ - \alpha_s^-)$	$\delta_i^j = \Delta_i^j / U^j =$ $(\alpha_s - \alpha_s) C_V / U^j$ ($\times 10^{-}$)	$P_i^j = \delta_i^j - 0.1 \sum_1^{10} \delta_i^j$ ($\times 10^{-}$)	$\Delta U_i^j = U^j (P_i^j + Q_\Sigma^j)$ (nV)	$\sum_0^j \Delta U_i^j$ (nV)
	j	j+1	j'	$\alpha_s^+ / \alpha_s^+ \alpha_s^- / \alpha_s^-$						
-1*	-1	10	0							
1	0	10	1							
	1	0	1							
2	1	10	2							
	2	0	2							
3	2	10	3							
	3	0	3							
4	3	10	4							
	4	0	4							
5	4	10	5							
	5	0	5							
6	5	10	6							
	6	0	6							
7	6	10	7							
	7	0	7							
8	7	10	8							
	8	0	8							
9	8	10	9							
	9	0	9							
10	9	10	10							
	10	0	10							

* $\Delta_{-1}^j = -\Delta_{\Sigma}^{j+1} = \frac{\alpha_s - \alpha_s}{2} C_V$, 由盘间过渡给出。 $C_V =$ nV/mm; $0.1 \sum_1^{10} \delta_i^j =$; $Q_\Sigma^j =$

表 A.3 盘间过渡表格*

$C_V =$ nV/mm

被过渡 盘数 j	G 偏格数				$\Delta'_\Sigma = \frac{1}{2}(\overline{a_+} - \overline{a_-})C_V$ (nV)	$\delta'_\Sigma = \delta'_\Sigma/U^{j-1}$	P_{-1}^{j-1**}	$Q'_\Sigma = Q_{\Sigma}^{j-1} + P_{-1}^{j-1} + \delta'_\Sigma$
	a_+	a_-	$\overline{a_+}$	$\overline{a_-}$				
II								
III								
IV								
V								
VI								
VII								
VIII								

* 表中部分符号是针对用 -1 示值过渡的,如用参考匝或 +1 示值过渡的,把表中有关符号做相应改动即可。
** P_{-1}^{j-1} 之值由表 A.1、表 A.2 抄入。几个盘共用绕组时,各盘 P_{-1} 之值均以其最大盘已知的 P_{-1} 代入。

表 A.4 不进行盘内比较的分数匝测量盘的线性度计算表

被检示值	$j =$						
	P_i^{j*} ($\times 10^{-}$)	$\Delta U_i^{j+1} = U^{j+1}(P_i^j + Q_{\Sigma}^{j+1})$ (nV)	$\sum_0^n \Delta U_i^{j+1}$ (nV)	$\Delta U_i^{j+2} = U^{j+2}(P_i^j + Q_{\Sigma}^{j+2})$ (nV)	$\sum_0^n \Delta U_i^{j+2}$ (nV)	$\Delta U_i^{j+3} = U^{j+3}(P_i^j + Q_{\Sigma}^{j+3})$ (nV)	$\sum_0^n \Delta U_i^{j+3}$ (nV)
-1							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

* j 、 $j+1$ 、 $j+2$ 、 $j+3$ 盘共用绕组, P_i^j 之值由表 A.2 抄入。

$Q_{\Sigma}^{j+1} =$; $Q_{\Sigma}^{j+2} =$; $Q_{\Sigma}^{j+3} =$

附录 B

线性度自检计算公式的推导

1 用参考绕组（含非单独的参考绕组）比较的测量盘的公式推导

按自检中基准点电压（1V）的真正传递程序，先求出各盘 10 个示值之和的相对修正值，然后以它们为基础，求出各示值的修正值。

设 U_i^j 、 ΔU_i^j 分别为 j 盘 i 步进本身的电压实际值和修正值， K_i^j 为 j 盘 i 步进本身与 j 盘 10 个示值之和的比值， P_i^j 为其相对修正值， U^j 为 j 盘步进电压， U_N^j 为 j 盘参考绕组（包括非单独的参考绕组）的“电压实际值”， δ_i^j 为 j 盘 i 步进对参考绕组的相对修正值。

$$\begin{aligned} K_i^j &= \frac{U_i^j}{\sum_1^{10} U_i^j} = \frac{U_N^j (1 + \delta_i^j)}{U_N^j \sum_1^{10} (1 + \delta_i^j)} \\ &= \frac{1}{10} \times \frac{1 + \delta_i^j}{1 + 0.1 \sum_1^{10} \delta_i^j} = 0.1 \left(1 + \delta_i^j - 0.1 \sum_1^{10} \delta_i^j \right) \end{aligned}$$

$$\text{又 } K_i^j = 0.1 (1 + P_i^j)$$

$$\text{所以 } P_i^j = \delta_i^j - 0.1 \sum_1^{10} \delta_i^j$$

同理可证， j 盘参考绕组对 j 盘 10 个示值之和的比值的相对修正值 $P_N^j = -0.1 \sum_1^{10} \delta_i^j$ 。

$$\text{则 } U_i^j = K_i^j \sum_1^{10} U_i^j = 0.1 (1 + P_i^j) \sum_1^{10} U_i^j$$

设 Q_Σ^j 为 j 盘 10 个示值之和的相对修正值，即 $\sum_1^{10} U_i^j = 10U^j (1 + Q_\Sigma^j)$ ，因为 1V 为线性度基准点，所以 $Q_\Sigma^j = 0$ 。设 δ_Σ^j 为 j 盘 10 个示值之和对 $j-1$ 盘 -1 示值的相对修正值，由用 -1 示值过渡的盘间过渡可知：

$$\begin{aligned} \sum_1^{10} U_i^j &= (1 + \delta_\Sigma^j) U_{-1}^{j-1} = 0.1 (1 + \delta_\Sigma^j) (1 + P_{-1}^{j-1}) \sum_1^{10} U_i^{j-1} \\ &= 0.1 (1 + \delta_\Sigma^j + P_{-1}^{j-1}) \times 10U^{j-1} (1 + Q_\Sigma^{j-1}) \\ &= U^{j-1} (1 + \delta_\Sigma^j + P_{-1}^{j-1} + Q_\Sigma^{j-1}) \end{aligned}$$

$$\text{又 } \sum_1^{10} U_i^j = 10U^j (1 + Q_\Sigma^j) = U^{j-1} (1 + Q_\Sigma^j)$$

$$\text{所以 } Q_\Sigma^j = Q_\Sigma^{j-1} + P_{-1}^{j-1} + \delta_\Sigma^j$$

无 -1 示值时，盘间过渡由参考绕组和 +1 示值来完成，设 $\delta_{\Sigma(N)}^j$ 、 $\delta_{\Sigma(+)}^j$ 分别为 j 盘 10 个示值之和对 $j-1$ 盘参考绕组和 +1 示值的相对修正值，同理可证

$$Q_{\Sigma}^j = Q_{\Sigma}^{j-1} + P_N^{j-1} + \delta_{\Sigma(N)}^j$$

$$Q_{\Sigma}^j = Q_{\Sigma}^{j-1} + P_{-1}^{j-1} + \delta_{\Sigma(+)}^j$$

即 j 盘 10 个示值之和的相对修正值可由 $j-1$ 盘 10 个示值之和的相对修正值（I 盘此修正值为零）和盘间过渡的有关数据导出。

$$\begin{aligned} \text{所以 } U_i^j &= U^j + \Delta U_i^j = 0.1(1 + P_i^j) \sum_1^{10} U_i^j \\ &= 0.1(1 + P_i^j) \times 10U^j(1 + Q_{\Sigma}^j) \\ &= U^j(1 + P_i^j + Q_{\Sigma}^j) \end{aligned}$$

$$\text{则 } \Delta U_i^j = U^j(P_i^j + Q_{\Sigma}^j)$$

2 不进行盘内比较的分数匝测量盘的公式推导

由上面公式可知，计算修正值要知道 P 、 Q 之值，而 Q 值已由盘间过渡给出，所以只要求出不进行盘内比较的测量盘的 P 值，即可应用上面的公式。设 j 、 $j+1$ 、 $\dots$ 、 $j+m$ 盘共用一组绕组 W^j ，各盘中的电流分别为 I^j 、 I^{j+1} 、 $\dots$ 、 I^{j+m} ， j 盘已进行过盘内比较，则

$$\begin{aligned} K_i^j &= \frac{U_i^j}{\sum_1^{10} U_i^j} = \frac{I^j W_i^j}{I^j \sum_1^{10} W_i^j} = 0.1(1 + P_i^j) \\ K_i^{j+1} &= \frac{U_i^{j+1}}{\sum_1^{10} U_i^{j+1}} = \frac{I^{j+1} W_i^j}{I^{j+1} \sum_1^{10} W_i^j} = 0.1(1 + P_i^j) \\ &\dots\dots \end{aligned}$$

$$\text{则 } K_i^j = K_i^{j+1} = \dots = K_i^{j+m} = 0.1(1 + P_i^j)$$

即共用绕组的测量盘中，各盘的某示值对该盘 10 个示值之和的比值是相等的，其相对修正值等于已知的 P_i^j 。

$$\text{所以 } \Delta U_i^{j+m} = U^{j+m}(P_i^j + Q_{\Sigma}^{j+m})$$

附录 C

检定证书及检定结果通知书内页格式

- 1 测量盘非线性误差 (见修正值表)
其中 I、II 盘最大相对误差: _____; III 盘以下最大绝对误差之和: _____。
- 2 电势漂移
a. 测量上限时: _____; b. 零示值时: _____。
- 3 电位差计低频噪声
a. 测量上限时: _____; b. 零示值时: _____。
- 4 跟踪误差
a. μAT 表的分度值 $C_{\text{AT}} =$ _____; b. I 盘示值 $\neq 0$ 时, 跟踪误差 $\leq$ _____;
c. I 盘示值 $= 0$ 时, 跟踪误差 $\leq$ _____。
- 5 纹波电压
a. 测量上限未滤波时: _____; b. 零示值未滤波时: _____;
c. 测量上限滤波时: _____; d. 零示值滤波时: _____。
- 6 检流计
a. 电压分度值 $C_v =$ _____; b. 噪声电压 $\leq$ _____;
c. 电压漂移 $\leq$ _____; d. 回路开关动作后电压变化 $\leq$ _____。
- 7 整体核验
差值 = _____ $\times 10^{-7}$, 结论: _____
检定结果通知书内页格式与上相同, 但要注明不合格的原因。

电位差计 _____ 量程线性度修正值表 单位: nV

示值	测量盘						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
-1							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

中华人民共和国
国家计量检定规程
直流比较仪式电位差计
JJG 505—2004
国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国计量出版社出版
北京和平里西街甲2号
邮政编码 100013
电话 (010) 64275360
E-mail jifxb@263.net.cn
北京市迪鑫印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
版权所有 不得翻印

*

880 mm × 1230 mm 16开本 印张1.5 字数27千字
2004年6月第1版 2004年6月第1次印刷
印数1—2 000