



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 169—2010

互感器校验仪

Transformers Test Set

2010-11-05 发布

2011-05-05 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

互感器校验仪检定规程

Verification Regulation of
Transformers Test Set

JJG 169—2010
代替 JJG 169—1993

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2010 年 11 月 5 日批准，并自 2011 年 5 月 5 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：国家高电压计量站

参加起草单位：湖北省电力试验研究院

浙江省电力试验研究院

新疆计量科学研究院

宁波三维电测设备有限公司

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：

王乐仁（国家高电压计量站）

章述汉（国家高电压计量站）

任永开（国家高电压计量站）

参加起草人：

舒开旗（湖北省电力试验研究院）

许灵杰（浙江省电力试验研究院）

宋 伟（新疆计量科学研究所）

朱重冶（宁波三维电测设备有限公司）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量性能要求	(1)
4.1 准确度等级	(1)
4.2 基本误差	(1)
4.3 百分表	(2)
4.4 分辨力	(2)
4.5 谐波抑制	(2)
4.6 负荷容量	(2)
4.7 稳定性考核	(2)
5 通用技术要求	(2)
5.1 接地和绝缘	(2)
5.2 输入端子和标志	(3)
6 计量器具控制	(3)
6.1 检定条件	(3)
6.2 检定项目	(4)
6.3 检定方法	(4)
6.4 检定结果的处理	(6)
6.5 检定周期	(6)
附录 A 检定记录格式	(7)
附录 B 检定证书内页格式	(9)
附录 C 检定结果通知书内页格式	(11)
附录 D 互感器校验仪整体检定装置校准方法	(13)

互感器校验仪检定规程

1 范围

本规程适用于采用差值法原理、工作频率为 50 Hz、测量电流互感器和电压互感器比例误差的互感器校验仪（以下简称校验仪）的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 引用文献

本规程引用下列文献：

JJG 124—2005 电流表、电压表、功率表及电阻表检定规程

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

互感器校验仪是一种测量工频电压（或电流）比例误差的仪器，当校验仪的工作电压（或电流）回路施加试验电压（或电流），差压（或差流）回路施加误差电压（或电流）时，校验仪可以通过电桥线路、电子线路、或数字电路测量得到差压（或差流）相量相对于工作电压（或电流）相量的同相分量和正交分量，通过计算即可得到被比较的电压（或电流）相量与工作电压（或电流）相量的幅值比（比值差）和相位差。如果被比较的电压（或电流）相量超前工作电压（或电流）相量，相位差为正，滞后为负。

从测量原理上，校验仪可分为电工式和电子式两大类。电工式通过电桥线路测量，需要进行电桥的平衡调节。电子式通过电子线路或数字电路测量，测量结果用数字显示，可以具有自动变换量程的功能。

校验仪的测量示值有三种表示方式：一般情况下比值差用百分数（%），相位差用[角]分（'）；或者比值差用百分数（%），相位差用厘弧度（crad）；或者比值差用 10 的负指数次幂（ 10^{-n} ），相位差用弧度乘 10 的负指数次幂（ 10^{-n} rad）。

4 计量性能要求

4.1 准确度等级

互感器校验仪按准确度等级分为 1 级、2 级、3 级。

4.2 基本误差

4.2.1 在表 1 的参比条件下，手动变换量程的校验仪各量程的比值误差不得超出式（1）给出的限值范围，相位误差不得超出式（2）给出的限值范围。

表 1 基本误差的参比条件

环境温度	相对湿度	电源频率	电压/电流百分数	电源波形畸变系数	环境电磁场干扰强度
0℃~40℃	≤80%	50 Hz±0.5 Hz	20%~120%/ 5%~120%	≤5%	不大于最小分度值 或量化值的 1/2

$$\Delta X = \pm K(X \cdot a\% + Y \cdot a\% + D_X) \quad (1)$$

$$\Delta Y = \pm K(X \cdot a\% + Y \cdot a\% + D_Y) \quad (2)$$

式中： ΔX ——同相分量基本误差允许值；

ΔY ——正交分量基本误差允许值；

K ——仪器常数，取值为量程的倍率；

X ——比值差测量示值的绝对值（若相位差以〔角〕分为单位，计算 ΔY 时应乘上3 438）；

Y ——相位差测量示值的绝对值（若相位差以〔角〕分为单位，计算 ΔX 时应乘上0.000 291）；

D_X, D_Y ——测量盘最小分度值或量化值（若相位差以〔角〕分为单位， $D_Y = 3\ 438 D_X$ ；若相位差以弧度为单位， $D_Y = D_X$ ）。本规程规定 $D_X = 0.1 R_K a\%$ ， R_K 为量程满度值；

a ——校验仪准确度等级指数。

4.2.2 超出表1电压（或电流）参比条件范围的校验仪量程，若电压（或电流）百分数低于5%，等级指数 a 增加1，若电压（或电流）超过120%，等级指数不变。

4.2.3 只在特定条件下使用的校验仪，允许根据需要选择 D_X 和 D_Y 值。

4.3 百分表

用于指示工作电压（或电流）大小的百分表，示值误差应满足1.5级指示仪表要求，在互感器误差检定点的示值相对误差不大于20%；当使用某一额定工作电压（或电流）改变其正常工作百分数范围时，仪表的内阻抗应保持不变。

4.4 分辨力

校验仪各量程在各挡额定工作电压（或电流）下，误差电压（或电流）信号变化相当于被检量程满度值的0.1%时，校验仪示值的变化不少于5个字。

4.5 谐波抑制

校验仪的测量回路对高次谐波信号应有足够的抑制能力。对于准确度等级为1级、2级、3级的校验仪，其三次以上谐波抑制比应分别大于32 dB、26 dB、20 dB。

4.6 负荷容量

校验仪工作电压（或电流）回路的功率因数应为0.8~1，额定容量不得超过5 VA。在额定工作电压（或电流）下，差压回路的电流不得超过1 mA；差流回路的压降不得超过50 mV。在工作电压（或电流）的其他百分数下，差压回路的压降不得超过额定电压下最大允许压降与电压百分数之积；差流回路的电流差不得超过额定电流下最大允许电流与电流百分数之积。

4.7 稳定性考核

互感器校验仪在接续的两次检定中，其误差的变化不得大于基本误差限值的2/3。

5 通用技术要求

5.1 接地和绝缘

校验仪应有接地端子，其金属外壳应与接地端子可靠连接。

校验仪的工作部分与接地端子和交流电源插座（若有）的绝缘电阻不小于 $20\text{ M}\Omega$ ，工频耐受电压不小于 1.5 kV 。

校验仪的工作电压回路和工作电流输入回路宜与误差电压和误差电流输入回路电气上绝缘，绝缘电阻不小于 $10\text{ M}\Omega$ ，工频耐受电压不小于 400 V 。

可以在高电位端输入误差电压（或电流）的校验仪，差压与差流输入端子与工作电压（或电流）回路的绝缘电阻不小于 $20\text{ M}\Omega$ ，工频耐受电压不小于 1.5 kV 。

5.2 输入端子和标志

工作电压回路输入端子标志为 a-x 或 U_p-0 ；工作电流回路输入端子标志为 T_0-T_x 或 I_p-0 。差压输入端子为 K-D 或 U_x-U_n ；差流输入端子为 K-D 或 I_K-0 。未按本规程标志的校验仪，在说明书中应给出仪器输入端子与规定端子标志的对应关系。

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 环境条件

6.1.1.1 环境温度 $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度小于 75% 。

6.1.1.2 因外界电磁干扰引起的误差不大于被检校验仪最小量程满度值的 0.1% 。

外界电磁干扰可用以下方法检查：被检校验仪在额定工作电压（或电流）下，由于调换工作电压（或电流）的极性引起检定结果的变化，应不超过被检校验仪最小量程满度值的 0.05% 。

6.1.2 电源

电源的实际频率与 50 Hz 偏离的数值，应不大于 0.1 Hz 。电源电压的波形失真不大于 5% 。

如果电源频率达不到上述要求，允许在 $50\text{ Hz}\pm 0.5\text{ Hz}$ 下检定，并根据实际频率对检定结果作修正。

6.1.3 标准器

检定应使用互感器校验仪整体检定装置作为标准器。

整体检定装置由标准交流阻抗器具、标准交流比率器具、交流标准电源及其他必要设备按一定电路结构组合而成。整体检定装置具有工作电压（或电流）输出端子和差压（或差流）输出端子。检定 1 级准确度的校验仪，应使用 0.2 级准确度的整体检定装置；检定 2 级和 3 级准确度的校验仪，应使用 0.2 级或 0.3 级准确度的整体检定装置。整体检定装置的参比条件和误差限值，参照 4.2.1 款规定。

整体检定装置在接入互感器校验仪时，由互感器校验仪引起的负荷误差不得超过整体检定装置误差限值的 $1/3$ 。

整体检定装置的频率附加误差，应有误差曲线或公式表示。

整体检定装置的分辨力，应能满足检定校验仪的要求。

整体检定装置的工作电源和等效微差电源，应能给出与被检校验仪相适应的幅值和相位连续可调的电流源与电压源信号。等效微差电源不稳定及波形失真引起的测量读数

变化，其标准偏差应小于整体检定装置允许误差的 1/10。

在校准周期内，整体检定装置的误差变化，应不大于误差限值的 1/3。

6.2 检定项目

互感器校验仪的检定项目按表 2 规定。

表 2 检定项目

检定项目	检定类别		
	首次检定	后续检定	使用中检验
外观及标志检查	+	+	+
极性检查	+	+	-
绝缘电阻测量	+	+	-
内附百分表	+	+	-
仪器分辨力	+	+	-
误差测量	+	+	+
稳定性试验	-	+	+
仪器示值与工作电流 (电压)的无关性	+	-	-
测量回路的谐波 抑制能力	+	-	-
校验仪对标准和被检 互感器的附加容量	+	-	-

注：表中符号“+”表示必检项目，符号“-”表示可不检项目。

6.3 检定方法

6.3.1 外观检查

外观检查用目测方法进行。检查校验仪的外观是否完好，标识是否正确清晰，各转换开关是否转动灵活，定位准确，滑线盘是否动作平滑，接触良好。

6.3.2 极性检查

极性指示应达到制造厂给出的技术指标要求。

6.3.3 仪器的绝缘电阻使用 500 V 兆欧表测量。

6.3.4 内附百分表的检定参照 JJG 124—2005 进行。指示仪表检定点为 5%、20%、50%、80%、100% 和 120%；数字仪表检定点为 1%、5%、20%、50%、100% 和 120%。

6.3.5 仪器分辨力试验

仪器分辨力试验在额定最小电流挡和额定最小电压挡分别进行。

校验仪置最小量程挡，在额定工作电压（电流）下，当误差电压和电流信号变化相当于被检量程满度值的 0.1% 时，读出校验仪示值变化。

6.3.6 稳定性试验

互感器校验仪在连续的两次检定中，其误差的变化不得大于基本误差限值的 2/3。

6.3.7 仪器的工作电压（或电流）回路的容量，在各挡额定电压（或电流）下用伏安法测量。其中电压量和电流量的测量误差均应小于 3%。

差压回路的电流和差流回路的电压，根据该仪器各量程的回路阻抗用计算方法确定，计算结果取上限值。

6.3.8 测量回路的谐波抑制能力试验

仪器处于最大灵敏度测量状态，工作回路施加 50 Hz 的额定电压（或电流），差压（或差流）回路与谐波源连接。谐波信号为等量的 3 次谐波和 5 次谐波叠加，信号强度调节到使仪器的指零仪偏转（或仪器的测量读数）达到满度值的 1/5，然后改用工频信号输入，调节信号强度使指零仪的偏转（或仪器的测量读数）也达到满度值的 1/5。两次信号有效值之比用分贝表示。

6.3.9 误差测量

6.3.9.1 一般要求

根据被检校验仪的用途，误差测量的范围包括电压互感器测量回路和（或）电流互感器测量回路。

检定时可采用同相分量示值误差与正交分量示值误差分别检定的方法。被检仪器的示值误差可以选取电压互感器（或电流互感器）测量回路的某一量程作为全检量程，其余量程和其他回路的所有量程，只在该量程上限值的 100%、10% 及与全检量程最大正负误差相对应的检定点位置进行检定。

全检量程的检定点，应包括正负最大示值之间全部标度点。多盘调节的校验仪，可按 $N/10$ 或 $N/9$ 的置数系列检定。用数字显示测量结果的校验仪，可取满度值的 10% 为间隔选取检定点。

仪器首次检定时，应在全检量程对应着同相与正交分量的中间示值与最大示值附近位置选 4 个补充检定点。电子式校验仪还要在每个受检量程按上述方法选 2 个补充检定点。

新制造的或修理后的仪器，除在每个额定工作电压（或电流）下进行检定外，尚应根据产品的技术条件，在规定的工作电压（或电流）范围测量其全检量程上限标度点的示值误差。

对仪器标度点示值误差的测量，应优先采用测量标度点实际误差的方法。如果被检仪器的分辨力优于受检点允许误差的 1/4，也可以采用测量标度点实际偏差的方法。

6.3.9.2 电压互感器测量回路的检定

检定线路如图 1 所示。用两对绞合导线连接整体检定装置和被检仪器的工作电压回路和差压回路，并按接地要求把相应的端子接地。调节工作回路电压 U_0 至额定值的 20%~50%，调节整体检定装置输出微差电压 ΔU ，调节误差测量回路使校验仪在某个受检示值点平衡或显示读数。记下校验仪比值差与相位差示值。

6.3.9.3 电流互感器测量回路的检定

检定线路如图 2 所示。用两对绞合导线连接整体检定装置和被检仪器的工作电流回

路和差流回路，并按接地要求把相应的端子接地。调节工作回路电流 I_p 至额定值的 20%~50%，调节整体检定装置输出微差电流 ΔI ，调节误差测量回路使校验仪在某个受检示值点平衡或显示读数。记录下校验仪比值差与相位差示值。

6.3.10 仪器示值与工作电流（或电压）的无关性试验可在误差测量过程中进行，试验时选择电流（或电压）的最小量程挡，在与百分表检定点对应的工作电流（或电压）下，在量程的最大部分、中间部分和最小部分各选一个示值试验点，测量各电流（或电压）百分数下校验仪的示值。

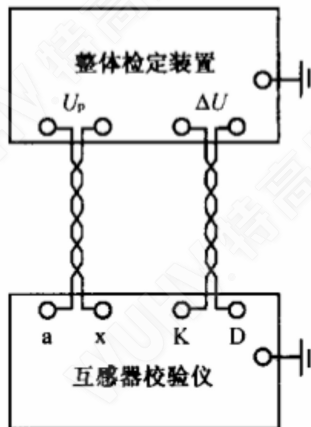


图1 检定电压互感器回路

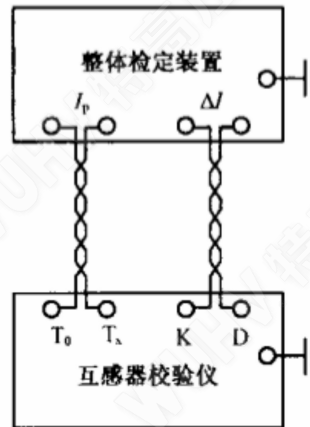


图2 检定电流互感器回路

6.4 检定结果的处理

6.4.1 检定数据应按规定格式做好原始记录。原始记录应至少保存两个检定周期。

6.4.2 按照本规程检定的校验仪，在某个检定点的测量示值与整体检定装置示值之差，若不超过 4.2.1 规定的允许误差范围，则该检定点合格。某一量程全部受检点合格，则该量程合格。

6.4.3 根据本规程进行检定的校验仪，如果外观检查没有发现影响仪器使用的缺陷，全检量程合格，按表 2 所列项目全部检定合格，可发给检定证书。

6.4.4 有超差项目的校验仪，如果能满足其他级别的全部技术条件，允许降级使用，出具检定证书。

6.4.5 检定不合格的校验仪，可发给检定结果通知书，并指出不合格项目。

6.5 检定周期

检定周期为 1 年。

附录 A

检定记录格式

一 外观检查

二 内附百分表误差测量

额定工作电流 _____ A, 最大误差 _____, 额定工作电流 _____ A, 最大误差 _____

额定工作电压 _____ V, 最大误差 _____, 额定工作电压 _____ V, 最大误差 _____

额定工作电压 _____ V, 最大误差 _____, 额定工作电压 _____ V, 最大误差 _____

三 仪器分辨力试验

额定工作电压 _____ V, 试验量程 _____, 比值差变化 _____, 相位差变化 _____

额定工作电流 _____ A, 试验量程 _____, 比值差变化 _____, 相位差变化 _____

四 测量回路谐波抑制能力试验

试验回路 _____, 试验量程 _____

3 次谐波量 _____, 5 次谐波量 _____, 响应量 _____, 基波量 _____

五 工作回路负荷容量测量

额定工作电流 _____ A, 电压降 _____ V, 额定工作电流 _____ A, 电压降 _____ V

额定工作电压 _____ V, 回路电流 _____ A, 额定工作电压 _____ V, 回路电流 _____ A

额定工作电压 _____ V, 回路电流 _____ A, 额定工作电压 _____ V, 回路电流 _____ A

六 差值回路负荷容量计算

差压回路最大电流 _____ A, 最大附加容量 _____ VA

差流回路最大压降 _____ V, 最大附加容量 _____ VA

七 绝缘试验

工作电压电流回路对接地端子 _____ MΩ, 差压差流回路对接地端子 _____ MΩ

工作电压电流回路对差压差流回路 _____ MΩ, 电源插座对接地端子 _____ MΩ

八 极性检查

九 全检量程检定

测量回路 _____, 量程 _____, 额定工作电流电压 _____

比值误差检定结果 _____

相位误差检定结果 _____

补充检定点检定结果 _____

电流电压无关性检定结果 _____

分/弧量程检定结果 _____

十 非全检量程检定

电流互感器测量回路受检量程 _____

电压互感器测量回路受检量程 _____

十一 检定结论

十二 误差试验数据记录

JJG 169—2010

说明	整检装置示值		受检仪器示值		误差		允许误差 (±)	
	比值差	相位差	比值差	相位差	比值差	相位差	比值差	相位差

附录 B

检定证书内页格式

检定结果（首次检定）

1. 外观及标志检查

结论：_____

2. 极性检查

结论：_____

3. 绝缘电阻试验

结论：_____

4. 内附百分表试验

结论：_____

5. 仪器分辨力试验

结论：_____

6. 仪器示值与工作电流（电压）的无关性试验

结论：_____

7. 测量回路的谐波抑制能力

结论：_____

8. 校验仪对标准和被检互感器的附加容量试验

结论：_____

9. 误差测量

9.1 电流互感器测量回路

结论：_____

9.2 电压互感器测量回路

结论：_____

检定结果（后续检定）

1. 外观及标志检查

结论：_____

2. 极性检查

结论：_____

3. 绝缘电阻试验

结论：_____

4. 内附百分表试验

结论：_____

5. 仪器分辨力试验

结论：_____

6. 稳定性试验

结论：_____

7. 误差测量

7.1 电流互感器测量回路

结论：_____

7.2 电压互感器测量回路

结论：_____

附录 C

检定结果通知书内页格式

检定结果（首次检定）

1. 外观及标志检查

结论：_____

2. 极性检查

结论：_____

3. 绝缘电阻试验

结论：_____

4. 内附百分表试验

结论：_____

5. 仪器分辨力试验

结论：_____

6. 仪器示值与工作电流（电压）的无关性试验

结论：_____

7. 测量回路的谐波抑制能力

结论：_____

8. 校验仪对标准和被检互感器的附加容量试验

结论：_____

9. 误差测量

9.1 电流互感器测量回路

结论：_____

9.2 电压互感器测量回路

结论：_____

检定结果（后续检定）

1. 外观及标志检查

结论： _____

2. 极性检查

结论： _____

3. 绝缘电阻试验

结论： _____

4. 内附百分表试验

结论： _____

5. 仪器分辨力试验

结论： _____

6. 稳定性试验

结论： _____

7. 误差测量

7.1 电流互感器测量回路

结论： _____

7.2 电压互感器测量回路

结论： _____

附录 D

互感器校验仪整体检定装置校准方法

D.1 适用范围

本方法适用于互感器校验仪整体检定装置中的工频参考电源和微差信号电源比率误差的校准操作。

D.2 参考标准

JJG 441—2008 交流电桥检定规程

D.3 技术要求

D.3.1 被校仪器外观应完好，功能正常；

D.3.2 被校仪器应有电气上互相绝缘的四对端口，分别为参考电流 I_p ，参考电压 U_p ，微差电流 ΔI ，微差电压 ΔU ；

D.3.3 被校仪器金属外壳上应有接地端子；

D.3.4 被校仪器同相与正交分量应具有线性叠加性。

D.4 校准条件

下面列出的环境条件和设备条件，可以满足 0.2 级及以下整体检定装置对校准不确定度的要求。当部分或全部条件不能满足时，可根据实际情况，参照第 D.8 条方法评估不确定度。

D.4.1 实验室环境温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度 30%~80%。

D.4.2 实验室供电电源为 $(220 \pm 10)\text{V}$ ，波形失真小于 2%，频率 $(50 \pm 0.01)\text{Hz}$ 。若频率不能满足要求，允许修正频率产生的附加误差，这时频率测量误差不大于 0.01 Hz。

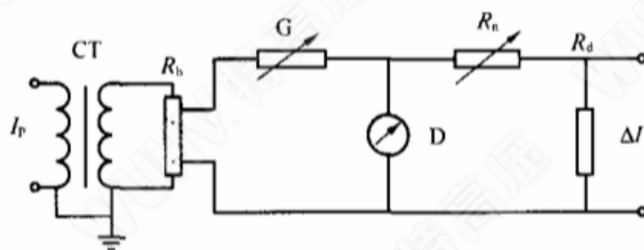
D.4.3 电磁干扰产生的附加误差，应不大于 0.02%。

D.4.4 校准使用的变比器和阻抗标准器，准确度不低于 0.02 级。电阻器的时间常数不大于 $6 \times 10^{-6}\text{s}$ ，电容器的损耗因数不大于 2×10^{-4} 。若不能满足要求，允许修正标准器所产生的附加误差。修正后引入的剩余误差应不大于允许误差的 1/5。

D.4.5 校准使用的工频指零仪，输入阻抗 $500\ \Omega \sim 5\ \text{k}\Omega$ ，电压灵敏度不低于 $1\ \mu\text{V}$ ，谐波抑制比不小于 40 dB。

D.5 电流比率校准

D.5.1 比值差校准线路见图 D.1。CT 用来选择极性，使桥路平衡。按图中参数， $R_d = 0.1\ \Omega$ 时，校准点 $(0 \sim 10) \times 1.001\%$ ， $R_d = 1\ \Omega$ 时，校准点 $(0 \sim 10) \times 0.101\%$ ， $R_d = 10\ \Omega$ 时，校准点 $(0 \sim 10) \times 0.011\%$ 。

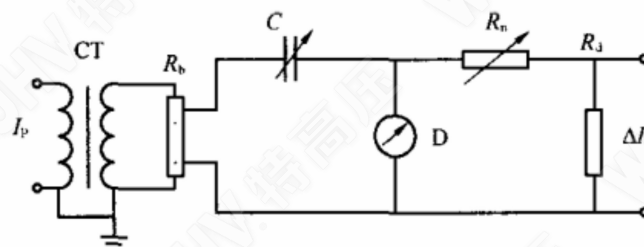


CT—电流互感器, 1 A/1 A; D—工频指零仪;
 R_b —标准电阻 0.1 Ω ; R_d —标准电阻 0.1 Ω , 1 Ω , 10 Ω ;
 G—电导箱 $(0\sim 10)\times 10^{-4}$ S; R_n —标准电阻 100 Ω

图 D.1 电流比率比值差校准线路

D.5.2 相位差 (')

校准线路见图 D.2。 $R_d=0.1 \Omega$ 时, 校准点 $(0\sim 10)\times 10.81'$; $R_d=1 \Omega$ 时, 校准点 $(0\sim 10)\times 1.091'$; $R_d=10 \Omega$ 时, 校准点 $(0\sim 9)\times 0.118 8'$ 。



CT—电流互感器, 1 A/1 A; D—工频指零仪;
 R_b —标准电阻 0.1 Ω ; R_d —标准电阻 0.1 Ω , 1 Ω , 10 Ω ;
 C—标准电容箱 $(0\sim 10)\times 0.1 \mu\text{F}$; R_n —标准电阻 100 Ω

图 D.2 电流比率相位差 (') 校准线路

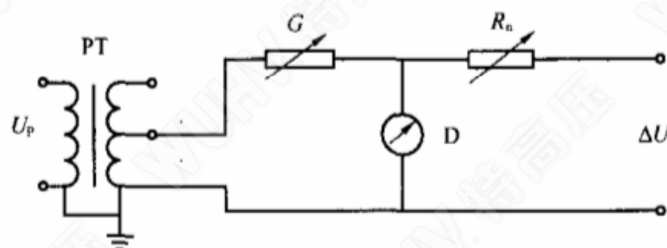
D.5.3 相位差 (rad)

采用图 D.2 线路, R_b 改为 0.3 Ω 。 $R_d=0.1 \Omega$ 时, 校准点 $(0\sim 10)\times 0.943 4 \text{ crad}$; 当 $R_d=1 \Omega$ 时, 校准点 $(0\sim 10)\times 0.095 19 \text{ crad}$; $R_d=10 \Omega$ 时, 校准点 $(0\sim 10)\times 0.010 37 \text{ crad}$ 。

D.6 电压比率校准

D.6.1 比值差

校准线路见图 D.3。 PT 可用来选择极性, 使桥路平衡。按图中参数, $R_n=10 \text{ k}\Omega$ 时, 校准点 $(0\sim 10)\times 1\%$; $R_n=1 \text{ k}\Omega$ 时, 校准点 $(0\sim 10)\times 0.1\%$; $R_n=100 \Omega$ 时, 校准点 $(0\sim 10)\times 0.01\%$ 。



PT—电压互感器, 10 V/0.1 V; D—工频指零仪;
 G—电导箱 $(0\sim 10)\times 10^{-4}$ S;
 R_n —电阻箱 100 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω

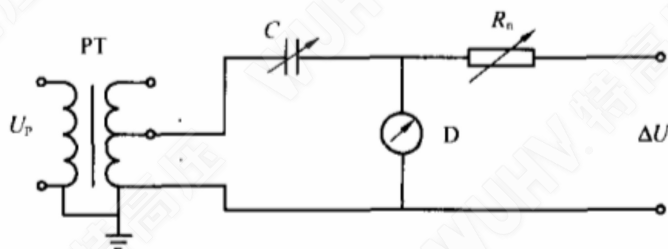
图 D.3 电压比率同相分量校准线路

D.6.2 相位差 (′)

校准线路见图 D.4。当 $R_n=10\text{ k}\Omega$ 时，校准点 $(0\sim 10)\times 10.8'$ ；当 $R_n=1\text{ k}\Omega$ 时，校准点 $(0\sim 10)\times 1.08'$ ；当 $R_n=100\ \Omega$ 时，校准点 $(0\sim 10)\times 0.108'$ 。

D.6.3 相位差 (rad)

采用图 D.4 线路，PT 变比改为 $10\text{ V}/0.3\text{ V}$ 。当 $R_n=10\text{ k}\Omega$ 时，校准点 $(0\sim 10)\times 0.9425\text{ crad}$ ；当 $R_n=1\text{ k}\Omega$ 时，校准点 $(0\sim 10)\times 0.09425\text{ crad}$ ；当 $R_n=100\ \Omega$ 时，校准点 $(0\sim 10)\times 0.009425\text{ crad}$ 。



PT—电压互感器 $10\text{ V}/0.1\text{ V}$ ；D—工频指零仪；

C—电容箱 $(0\sim 10)\times 0.1\ \mu\text{F}$ ；

R_n —电阻箱 $100\ \Omega$ 、 $1\text{ k}\Omega$ 、 $10\text{ k}\Omega$

图 D.4 电压比率相位差校准线路

D.7 校准点选择

全校量程应逐盘逐点校准，参考电流为 1 A ，参考电压 12 V 。非全校量程选择量程的起始部分、最大部分以及全校量程中正负误差最大点校准。

D.8 不确定度评估

D.8.1 不确定度来源

1) 环境温度

标准电容箱的温度系数按 1×10^{-4} 考虑，最大影响量为 5×10^{-4} ，三角分布，B 类分量。 $u_1=2\times 10^{-4}$ 。估计有 30% 的偏差，取 $\nu_1=6$

2) 电磁干扰

按 2×10^{-4} 考虑，B 类分量，均匀分布。 $u_2=1.2\times 10^{-4}$ 。估计有 30% 的偏差，取 $\nu_2=6$

3) 电源频率

按 2×10^{-4} 考虑，B 类分量，均匀分布。 $u_3=1.2\times 10^{-4}$ 。估计有 30% 的偏差，取 $\nu_3=6$

4) 电源谐波

2% 的电源谐波和 40 dB 的谐波抑制比，影响量按 2×10^{-4} 考虑，B 类分量，两点分布。 $u_4=2\times 10^{-4}$ 。估计有 30% 的偏差，取 $\nu_4=6$

5) 变比器和阻抗标准器

若变比器和阻抗标准器等级指数为 a ，按 B 类分量，均匀分布考虑， $u_x=\frac{a}{1.7}\times 10^{-2}$ ，估计有 30% 的偏差，自由度 $\nu_x=6$ 。

校准线路中使用的变比器和阻抗标准器，可按上述方法作不确定度估算。

D.8.2 不确定度综合

根据测量线路使用的仪器，确定不确定度各个分量 u_i 。然后按方和根法从 u_i 中合成出 u ，灵敏系数均取 $c_j=1$ 。

比值差的不确定度分量，包括变比器、电阻器、电导箱、电磁干扰、电源谐波。

相位差的不确定度分量除变比器、电阻器、电导箱、电磁干扰、电源谐波外，还包括温度和频率的不确定度分量。因此相位差校准结果的不确定度要大于比值差，通常要降低一个准确度等级。

D.8.3 自由度的综合按公式 $\nu = \frac{u^4}{\sum \frac{u_i^4}{\nu_i}}$ 计算

D.8.4 扩展不确定度

根据 t 分布查找 95% 对应的 ν 的包含因子，计算出 U_{95} 作为扩展不确定度。

D.9 校准报告

D.9.1 校准报告给出全校量程与非全校量程的最大误差及总不确定度 U_{95} 。

D.9.2 在校准报告结论部分，说明每个被校准量程所符合的准确度级别。准确度级别分为 0.1 级、0.2 级、0.3 级、0.5 级四种，判断依据：量程的最大误差绝对值与总不确定度按方和根法合成后，其大小不超过相应级别的允许误差范围。允许误差范围 ΔX 与准确度等级指数的关系为： $\Delta X = a\% X + 0.1a\% FS$ 。式中 FS 为量程的上限值。

D.9.3 校准报告一般不给出有效期限。当被校仪器属周期校准时，可根据稳定性情况说明下一次校准时间。