



福建省地方计量技术规范

JJF (闽) 1108-2020

互感器伏安特性试验装置校准规范

Calibration Specification of Mutual Inductor Error and
Volt-ampere characteristic tester

2020-12-16 发布

2021-03-16 实施

福建省市场监督管理局 发布

互感器伏安特性试验装置 校准规范

JJF (闽) 1108 — 2020

**Verification Regulation of Motor Vehicle
Point-to-point Speed Measurement Systems**

本规范经福建省市场监督管理局于 2020 年 12 月 16 日批准，并自
2021 年 03 月 16 日起施行。

归口单位：福建省市场监督管理局

主要起草单位：福建省计量科学研究院

本规范委托福建省计量科学研究院负责解释

本规程主要起草人：

赵斯衍（福建省计量科学研究院）

林 勇（福建省计量科学研究院）

王榕模（福建省计量科学研究院）

参加起草人：

林艳红（福建省计量科学研究院）

陈爱玲（福建省计量科学研究院）

江文松（中国计量大学）

孙峰生（南平市计量所）

目 录

引 言	II
范围	1
2 引用文献	1
3 概述	1
4 计量特性	1
4.1 电压示值误差	1
4.2 电流示值误差	1
4.3 电压互感器变比及极性	2
4.4 电流互感器变比及极性	2
4.5 基本误差	2
4.6 二次回路负载	2
5 校准条件	2
5.1 环境条件	2
5.2 校准用主要设备	3
6 校准项目和校准方法	3
6.1 校准项目	3
6.2 校准方法	4
7 校准结果表达	10
7.1 校准证书	10
7.2 数据处理	10
8 复校时间间隔	10
附录 互感器伏安特性试验装置校准结果不确定度分析	11
附录 A 互感器伏安特性试验装置校准原始记录	22
附录 B 互感器伏安特性试验装置校准证书格式	26

引 言

本规范依据 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》国家计量技术规范，并按 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》的要求进行编写。

本规范为首次发布。

互感器伏安特性试验装置校准规范

1 范围

本规范适用于具有互感器误差及伏安特性功能的测试仪器的校准（以下简称测试仪）。

2 引用文献

本规范引用了下列文献：

JJG 1021-2007 电力互感器检定规程

JJF 1584-2016 电流互感器伏安特性测试仪校准规范

DL/T 1221-2013 互感器综合特性测试仪通用技术条件

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

3 概述

测试仪主要是对互感器的误差、伏安特性进行试验的专用仪器，是继电保护和高压绝缘专业的专门检测仪器，主要由调压系统、变压器、电压和电流测量系统等部分组成，可以对互感器的基本误差、变比、二次回路负载等参数进行检测。

4 计量特性

4.1 电压示值误差

内部自带电压源或电压表的测试仪，按其电压范围进行校准，校准点读数的相对误差不超过 $\pm 1\%$ 。

4.2 电流示值误差

内部自带电流源或电流表的测试仪，按其电流范围进行校准，校准点读数的相对误差不超过 $\pm 0.5\%$ 。

4.3 电压互感器变比及极性

测试仪进行电压互感器变比试验时，试验结果应能准确判断电压互感器的极性，显示电压变比，变比测量误差以相对误差表示，变比测量的最大允许误差不超过 $\pm 0.5\%$ 。

4.4 电流互感器变比及极性

测试仪进行电流互感器变比试验时，试验结果应能准确判断电流互感器的极性，显示的电流变比，变比测量误差以相对误差表示，变比测量的最大允许误差不超过 $\pm 0.5\%$ 。

4.5 基本误差

表 1 测试仪电流互感器基本误差部分的误差限值

准确度等级	比值误差(\pm)						相位误差(\pm)					
	倍率因数	额定电流百分值					倍率因数	额定电流百分值				
		1	5	20	100	120		1	5	20	100	120
1	(%)	-	3.0	1.5	1.0	1.0	(')	-	180	90	60	60
0.5S		1.5	0.75	0.5	0.5	0.5		90	45	30	30	30
0.5		-	1.5	0.75	0.5	0.5		-	90	45	30	30
0.2S		0.75	0.35	0.2	0.2	0.2		30	15	10	10	10
0.2		-	0.75	0.35	0.2	0.2		-	30	15	10	10

表 2 测试仪电压互感器基本误差部分的误差限值

准确度等级	比值误差(\pm)						相位误差(\pm)					
	倍率因数	额定电压百分值					倍率因数	额定电压百分值				
		20	50	80	100	120		20	50	80	100	120
1	(%)	-	-	1.0	1.0	1.0	(')	-	-	40	40	40
0.5		-	-	0.5	0.5	0.5		-	-	20	20	20
0.2		0.4	0.3	0.2	0.2	0.2		20	15	10	10	10

4.6 二次回路负载

测试仪阻抗测量范围应不小于 10Ω ，测量电流应选择使用 1A 或 5A，测量结果的最大允许误差不超过 $\pm 1\%$ 。

5 校准条件

5.1 环境条件

- 5.1.1 环境温度： $15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ ；
- 5.1.2 相对湿度：不大于 85%；
- 5.1.3 校准过程中周围无影响被校测试仪性能的机械振动、冲击及电磁辐射；
- 5.1.4 供电电源：

电压范围： $220(1\pm 10\%)\text{V}$ ；

频率：50(1±1%)Hz；

波形畸变系数不超过 3%。

5.2 校准用主要设备

校准用主要设备见表 3。

表 3 校准用主要设备一览表

设备名称	允许误差
数字多用表	在实际测量范围内的允许误差不超过被校测试仪自带电压源和自带电流源允许误差的 1/5
交流电压源、电流源	在实际测量范围内的允许误差不超过被校测试仪自带电压表和自带电流表允许误差的 1/5
标准电流互感器	准确度等级至少比被校测试仪高两个级别，其实际误差不大于被校测试仪允许误差限值的 1/5，且测量范围应能覆盖被校测试仪的测量范围
标准电压互感器	准确度等级至少比被校测试仪高两个级别，其实际误差不大于被校测试仪允许误差限值的 1/5，且测量范围应能覆盖被校测试仪的测量范围
电流互感器负荷箱	选用额定电流为 1A 和 5A 的电流互感器负荷箱作为标准，准确度等级不低于 3 级
标准电阻箱	选用额定电流为 1A 的标准电阻作为标准，准确度等级不低于 0.02 级

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

测试仪校准项目见表 4。

表 4 测试仪校准项目一览表

序号	校准项目
1	外观和通电检查
2	电压示值误差
3	电流示值误差
4	电流互感器变比及极性

表 4 测试仪校准项目一览表 (续)

序号	校准项目
5	电压互感器变比及极性
6	基本误差
7	二次回路负载

6.2 校准方法

6.2.1 外观和通电检查

6.2.1.1 外观

被校测试仪及配套器件外观应完好,不能有机机械损伤,测试仪各转换开关和接线端钮的标记应齐全清晰,接插件接触良好,开关转动灵活,定位准确,外壳上应有明确的接地端子。应标有产品名称、型号、生产厂家(商标)、出厂编号及保证其正确使用的标志。

6.2.1.2 通电检查

按被校测试仪说明书规定接通电源,预热 15min 后,应能正常工作。

6.2.3 电压示值

6.2.3.1 外施电压法

针对被校测试仪自带电压表,采用外施电压法校准,被校测试仪输入的伏安特性交流电压量程在 1000V 以下时,采用标准电压源作为测量标准进行测量。标准电压源所输入的标准电压值与被校测试仪电压显示值之差即为被校测试仪伏安特性交流电压的示值误差。

被校测试仪输入的伏安特性交流电压量程在 1000V 以上时,按照图 1 进行接线。采用电压互感器作测量标准,利用升压器进行升压,由数字多用表对电压互感器的二次侧电压进行实时监测。将测量标准交流电压输出端与被校测试仪的伏安特性交流电压输入端相连接,测量标准输出电压值在被校测试仪上显示,数字多用表读取数值乘以标准电压互感器相应变比所得值与被校测试仪电压显示值之差即为被校测试仪安特性交流电压示值误差,误差按公式(1)计算。

6.2.3.2 内施电压法

针对被校测试仪自带电压源,采用内施电压法校准,被校测试仪输出的伏安特性交流电压量程在 1000V 以下时,采用数字多用表作测量标准进行测量。数字多用表所显示

值与被校测试仪电压显示值之差即为被校测试仪伏安特性交流电压的示值误差。

被校测试仪输出的伏安特性交流电压量程在 1000V 以上时，按照图 2 进行接线。采用标准电压互感器作测量标准，将测量标准交流电压输入端与被校测试仪的伏安特性交流电压输出端相连接，测量标准输入电压值在被校测试仪上显示，数字多用表读取数值乘以标准电压互感器相应变比所得值与被校测试仪电压显示值之差即为被校测试仪伏安特性交流电压示值误差，误差按公式(1)计算。

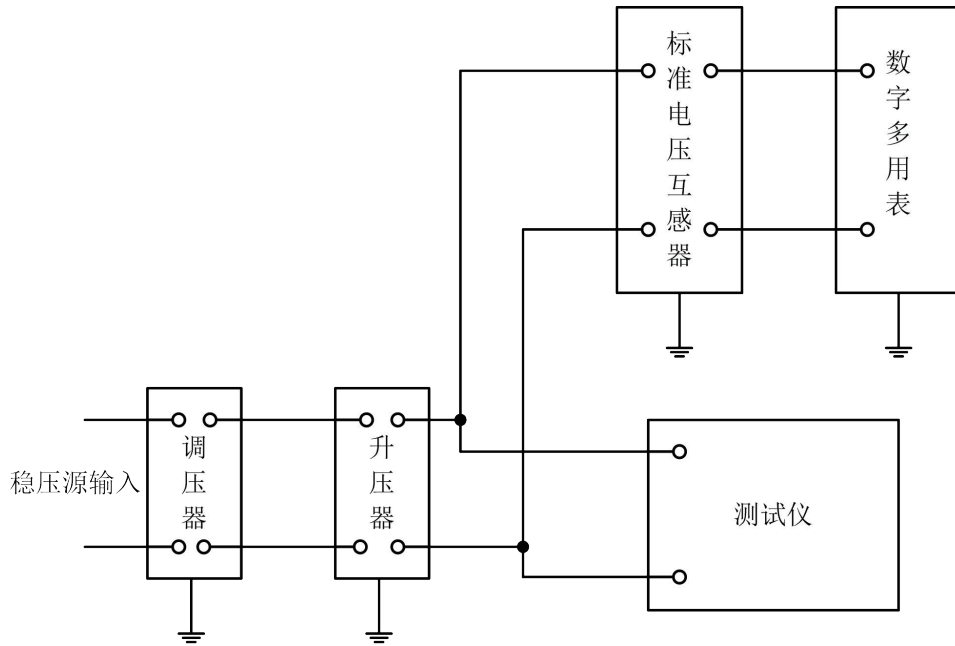


图 1 电压示值接线图（外施电压法）

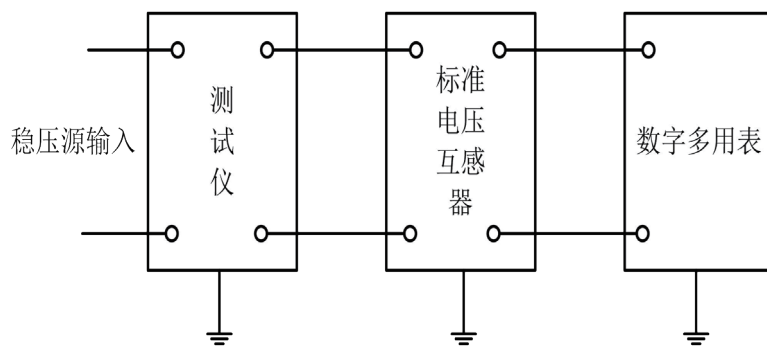


图 2 电压示值接线图（内施电压法）

$$\gamma_v = \frac{V - kV_0}{kV_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

γ_v ——电压示值的相对误差；

V ——被校测试仪电压显示值；

k ——标准电压互感器变比值；

V_0 ——数字多用表读数。

6.2.4 电流示值

6.2.4.1 外施电流法

针对被校测试仪自带电流表，采用外施电流法校准，当被校测试仪输入的伏安特性交流电流量程在 100A 以下时，采用交流电流源作为测量标准进行测量，交流电流源所输入的标准电流值与被校测试仪电流显示值之差即为被校测试仪伏安特性交流电流的示值误差。

被校测试仪输入的伏安特性交流电流量程在 100A 以上时，按照图 3 进行接线。采用标准电流互感器作测量标准，利用升流器进行升流，由数字多用表对电流进行实时监测。将测量标准交流电流输出端与被校测试仪的伏安特性交流电流输入端相连接，测量标准输出电流值在被校测试仪上显示，数字多用表读取数值乘以标准电流互感器相应变比所得值与被校测试仪电流显示值之差即为被校测试仪安特性交流电流示值误差，误差按公式(2)计算。

6.2.4.2 内施电流法

针对被校测试仪自带电流源，采用内施电流法校准，被校测试仪输出的伏安特性交流电流量程在 10A 以下时，采用数字多用表作为测量标准进行测量，数字多用表所显示的电流值与被校测试仪电流显示值之差即为被校测试仪伏安特性交流电流的示值误差。

被校测试仪输出的伏安特性交流电流量程在 10A 以上时，按照图 4 进行接线。采用标准电流互感器作测量标准，将测量标准交流电流输入端与被校测试仪的伏安特性交流电流输出端相连接，测量标准输入电流值在被校测试仪上显示，数字多用表读取数值乘以标准电流互感器相应变比所得值与被校测试仪电流显示值之差即为被校测试仪伏安特性交流电流示值误差，误差按公式(2)计算。

$$\gamma_i = \frac{I - kI_0}{kI_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

γ_i ——电流示值的相对误差；

I ——被校测试仪电流显示值；

k ——标准电流互感器变比值；

I_0 ——数字多用表读数值。

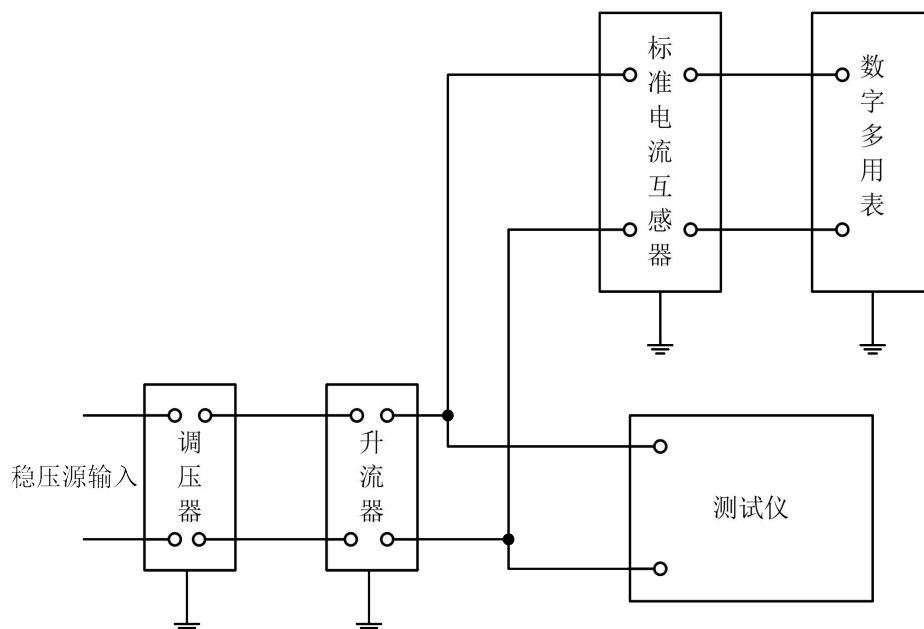


图 3 电流示值接线图（外施电流法）

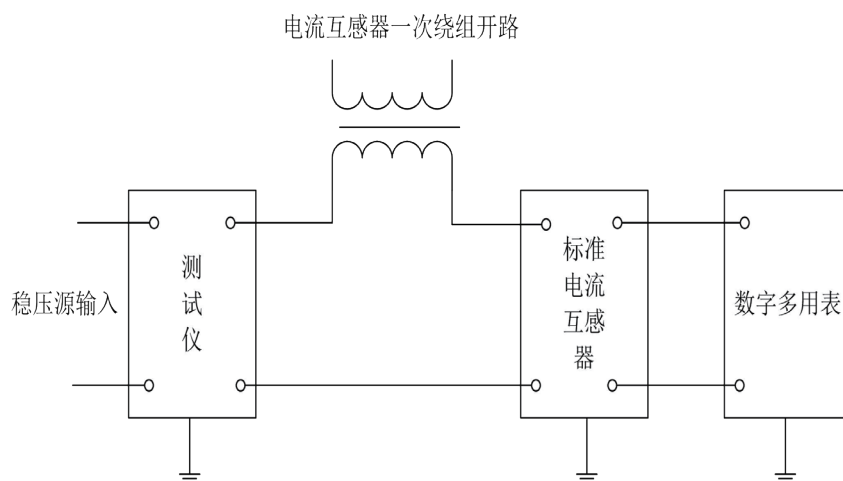


图 4 电流示值接线图（内施电流法）

6.2.5 电流互感器变比及极性

按照图 5 进行接线，用标准电流互感器对被校测试仪的电流变比功能进行校准，在被校测试仪的电流互感器变比范围内，至少选取 10 个额定变比点，并对其显示极性进行判断。

6.2.6 电压互感器变比及极性

按照图 6 进行接线，用标准电压互感器对被校测试仪的电压变比功能进行校准，在被校测试仪的电压互感器变比范围内，至少选取 5 个额定变比点，并对其显示极性进行判断。

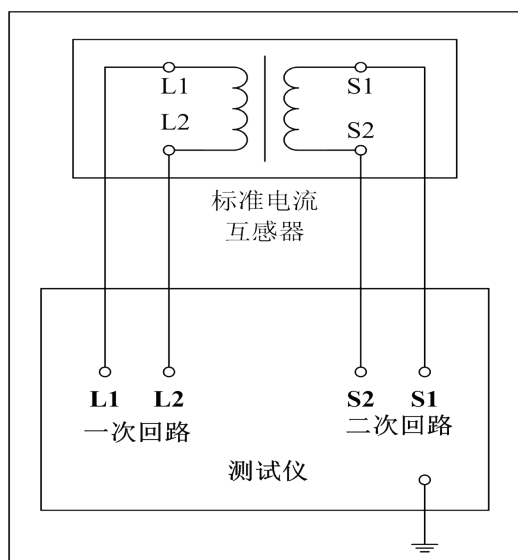


图 5 电流互感器变比及极性接线图

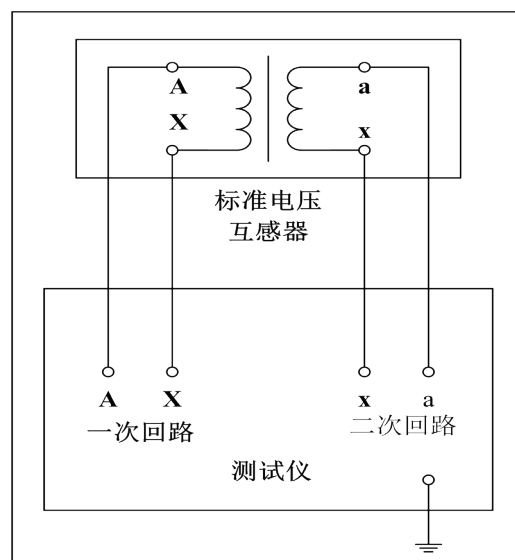


图 6 电压互感器变比及极性接线图

6.2.7 基本误差

用标准电流互感器作为测量标准，对不同类型的被校测试仪电流基本误差，选用外施电流法或内施电流法进行校准，按照图 7 进行接线。用标准电压互感器作为测量标准，对不同类型的被校测试仪电压基本误差，选用外施电压法或内施电压法进行校准，按照图 8 进行接线。电流基本误差点至少选取 10 个额定变比点，电压基本误差点至少选取 5 个额定变比点。

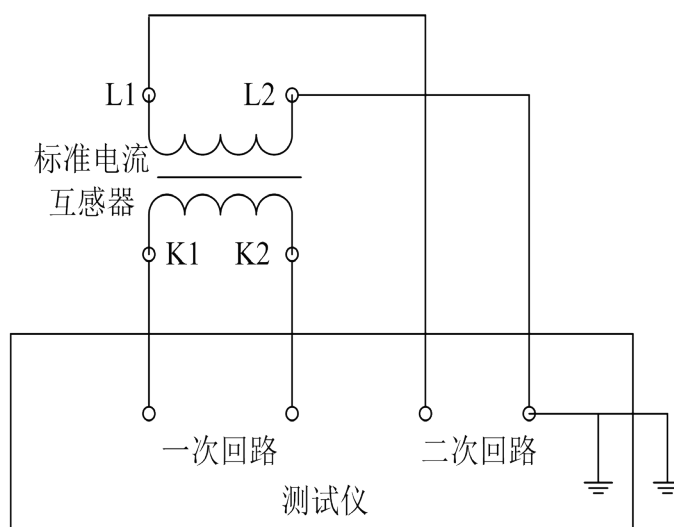


图 7 电流互感器基本误差接线图

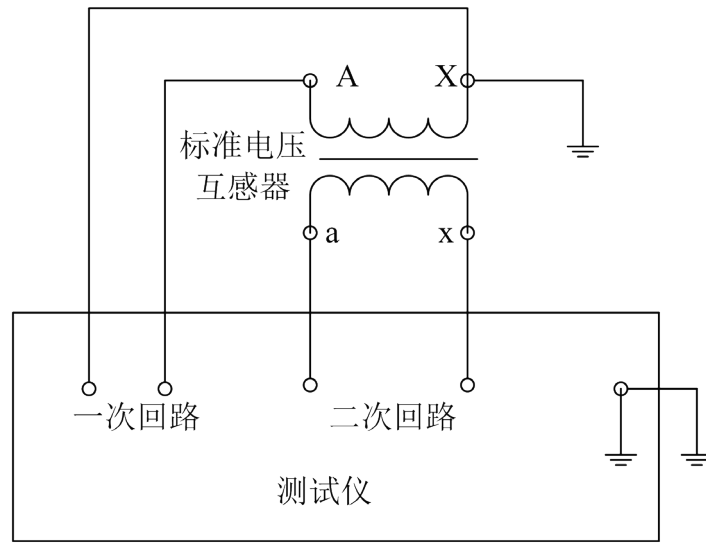


图 8 电压互感器基本误差接线图

6.2.8 二次回路负载

6.2.8.1 二次回路阻抗

按照图 9 进行接线。选用额定电流 1A 或 5A 的电流互感器负荷箱作为测量标准，对二次回路阻抗进行测试。基本量程范围内均匀选取 10 个校准点；在非基本量程取 3~5 个点，亦可根据用户要求进行选择校准点，但不得少于 3 个校准点。

6.2.8.2 二次绕组阻抗

按照图 10 进行接线，选用额定电流 1A 的标准电阻作为测量标准，对二次绕组电阻进行测试。基本量程范围内均匀选取 10 个校准点；在非基本量程取 3~5 个点，亦可根据用户要求进行选择校准点，但不得少于 3 个校准点。

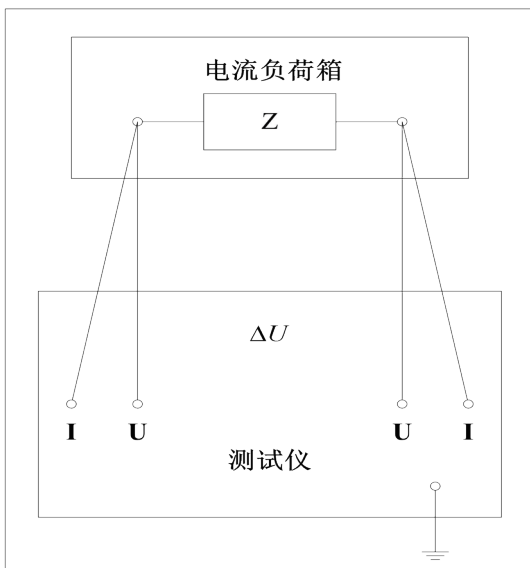


图 9 二次回路阻抗接线图

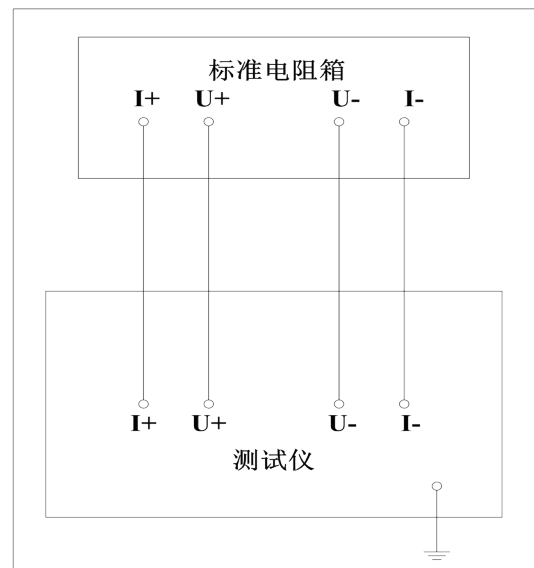


图 10 二次绕组电阻接线图

7 校准结果的表达

7.1 校准证书

经校准的校验仪出具校准证书，校准证书应包括以下信息：

- a) 标题：校准证书；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点(如果不在实验室内进行校准)
- d) 校准证书编号，页码及总页数；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 被校仪器名称、制造厂、型号规格及出厂编号；
- g) 进行校准的日期；
- h) 校准依据、包括名称及代号；
- i) 校准所使用的计量标准及有效期；
- j) 校准时环境的描述；
- k) 校准项目的校准结果及其测量不确定度；
- l) 校准证书签发人的签名、核验人的签名、批准人的签名以及签发日期；
- m) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- n) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

7.2 数据处理

基本误差的修约间距按表 5 规定，基本误差应修约为修约间隔的整数倍。

表 5 基本误差修约间隔

准确度等级		0.2 级	0.5 级	1 级
修约间隔	比值差(%)	0.02	0.05	0.1
	相位差(')	1	2	5

8 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据实际情况确定，建议一般不超过 1 年，修理和调整后，应随时校准。

附录

互感器伏安特性试验装置
校准结果不确定度分析

一、伏安特性交流电压（外施电压法）的不确定度分析：

1. 概述

1.1 测量依据：JJF (闽) XXXX-20XX 互感器伏安特性试验装置校准规范

1.2 测量环境条件：温度(15~35)℃，相对湿度不大于 85%

1.3 测量标准：

仪器名称:交流测试系统，型号:TAC-A，编号:05075080，量程:(0~1000)V，准确度级别:0.05 级；

仪器名称:数字多用表，型号:8846A，编号:3507023，量程:(0.1~1000)V，准确度级别:0.05 级；

仪器名称:双级电压互感器，型号:HJS1，编号:8209，量程:(2000~10000)V/100V，准确度级别:0.01 级；

1.4 被测对象：互感器伏安特性试验装置及其相同功能的此类设备（交流电压部分）

1.5 测量方法：被校测试仪输入的伏安特性交流电压量程在 1000V 以下时，采用交流测试系统作为测量标准进行测量。交流测试系统所输入的标准电压值与被校测试仪电压显示值之差即为伏安特性交流电压的示值误差。

被校测试仪输入的伏安特性交流电压量程在 1000V 以上时，采用电压互感器作测量标准，利用升压器进行升压，由数字多用表对电压进行实时监测。将测量标准交流电压输出端与被校测试仪的伏安特性交流电压输入端相连接，测量标准输出电压值在被校测试仪上显示，数字多用表读取数值乘以标准电压互感器相应变比所得值与被校测试仪电压显示值之差即为伏安特性交流电压的示值误差。

1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测量，一般可直接使用本不确定度的评定方法。

2. 测量模型

2.1 交流电压量程小于 1000V： $\Delta U = U_x - U_N$

ΔU ——交流电压示值误差，V

U_X ——被测仪器表示值，V

U_N ——标准器读数值，V

根据不确定度合成原理，交流电压误差合成标准不确定度计算公式为：

$$u_c^2(\Delta U) = C_1^2 u_A^2(\Delta U) + C_2^2 u(\varepsilon)^2$$

$u_A(\Delta U)$ ——被检仪器误差重复性引入的标准不确定度，V；

$u(\varepsilon)$ ——标准器测量引入的标准不确定度，V；

C_1 、 C_2 为各项灵敏系数。

2.2 交流电压量程大于 1000V: $\Delta U = U_X - kU_N$

ΔU ——伏安特性交流电压示值误差，V

U_X ——被测仪器表示值，V

U_N ——标准器读数值，V

k ——电压互感器变比，V/V。

根据不确定度合成原理，交流电压误差合成标准不确定度计算公式为：

$$u_c^2(\Delta U) = u_A^2(\Delta U) + C_1^2 u(\varepsilon)^2 + C_2^2 u(k)^2$$

$u_A(\Delta U)$ ——被检仪器误差重复性引入的标准不确定度，V；

$u(\varepsilon)$ ——标准器测量引入的标准不确定度，V；

$u(k)$ ——电压互感器引入的标准不确定度；

C_1 、 C_2 为各项灵敏系数。

3. 标准不确定度的 A 类评定

对被测仪器的伏安特性交流电压 1V，10V，100V，1000V，5000V 分别进行 10 次连续测量，得到测量结果如下表所示：

交流电压测量结果 单位：V

次数 结果	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.001	1.003	1.001	1.002	1.001	1.002	1.003	1.001	1.002	1.003
10	10.06	10.05	10.07	10.08	10.08	10.06	10.07	10.06	10.08	10.05
100	101.1	100.6	100.7	100.9	100.8	100.6	100.8	101.2	100.7	100.9
1000	1019	1013	1017	1016	1011	1015	1012	1016	1013	1018
5000	5058	5083	5069	5077	5093	5053	5086	5076	5066	5095

用贝塞尔公式计算测量结果，可得 A 类评定的不确定度分量，计算公式为：

$$u_A(\Delta U) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_{Ni} - U_N)^2}{n-1}}$$

$u_A(\Delta U)$ ——被检仪器误差重复性引入的标准不确定度，V；

U_{Ni} ——第 i 次独立测量结果，V；

U_N —— n 次独立测量结果平均值，V；

n —— $n = 10$

计算得到：

$$u_A(\Delta U) = 0.000876V(1V), \quad u_A(\Delta U) = 0.011738V(10V), \quad u_A(\Delta U) = 0.200278V(100V),$$

$$u_A(\Delta U) = 2.666667V(1000V), \quad u_A(\Delta U) = 14.143707V(5000V)$$

4. 标准不确定度的 B 类评定

根据交流测试系统的校准证书，其在交流电压下测量最大允许误差为 $\pm 0.05\%$ ，按矩形分布估计。所测得的伏安特性交流电压输出值的平均值分别为 1.0019V，10.066V，100.83V，1015.0V，则测量引入的标准不确定度为：

$$u(\varepsilon) = 0.00029V(1V), \quad u(\varepsilon) = 0.00291V(10V),$$

$$u(\varepsilon) = 0.02911V(100V), \quad u(\varepsilon) = 0.29301V(1000V),$$

根据数字多用表的校准证书，其最大允许误差为 $\pm 0.05\%$ ，按矩形分布估计。所测得的伏安特性交流电压输出值的平均值为 5075.6V，数字多用表显示值的平均值为 101.512V，则测量引入的标准不确定度为： $u(\varepsilon) = 0.02930V(5000V)$ ，

电压互感器变比 k 引入的标准不确定度分量

根据电压互感器检定证书，电压互感器(额定变比为 5000V/100V)最大允许误差为 $\pm 0.01\%$ ，按照矩形分布估计，电压互感器变比 k 引入的标准不确定度为：

$$u(k) = 50 \times \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.002887$$

5. 灵敏系数

$$5.1 \text{ 交流电压量程小于 } 1000V: \quad C_1 = \frac{\partial \Delta U}{\partial \Delta U_x} = 1, \quad C_2 = \frac{\partial \Delta U}{\partial \Delta U_N} = -1$$

$$5.2 \text{ 交流电压量程大于 } 1000V: \quad C_1 = \frac{\partial \Delta U}{\partial \Delta U_x} = -50, \quad C_2 = \frac{\partial \Delta U}{\partial \Delta k} = -101.512V$$

6. 合成标准不确定度

6.1 交流电压量程小于 1000V:

被检仪器交流电压误差的合成不确定和相对合成标准不确定度分别为:

$$u_c(\Delta U)=0.00092\text{V}(1\text{V}) , u_{\text{crel}}(\Delta U)=0.09\%(1\text{V}),$$

$$u_c(\Delta U)=0.01209\text{V}(10\text{V}) , u_{\text{crel}}(\Delta U)=0.12\%(10\text{V}),$$

$$u_c(\Delta U)=0.20238\text{V}(100\text{V}) , u_{\text{crel}}(\Delta U)=0.20\%(100\text{V}),$$

$$u_c(\Delta U)=2.68272\text{V}(1000\text{V}) , u_{\text{crel}}(\Delta U)=0.27\%(1000\text{V}).$$

6.2 交流电压量程大于 1000V:

输入量	标准不确定度	分布	灵敏度系数	合成标准不确定度	相对合成标准不确定度
$u_A(\Delta U)$	14.143707V	正态	+1	14.222365V	0.28%
$u(\varepsilon)$	0.02930V	矩形	-50		
$u(k)$	0.002887	矩形	-101.512V		

7. 测量不确定度的报告与表示

取 $k=2$, 则伏安特性交流电压输出值各测量范围的相对扩展不确定度为:

(1~10)V: $U_{\text{rel}}=0.24\%$; (10~100)V: $U_{\text{rel}}=0.40\%$; (100~1000)V: $U_{\text{rel}}=0.54\%$;

(1000~5000)V: $U_{\text{rel}}=0.57\%$.

二、伏安特性交流电流（外施电流法）的不确定度分析:

1. 概述

1.1 测量依据: JJF (闽) XXXX-20XX 互感器伏安特性试验装置校准规范

1.2 测量环境条件: 温度(15~35)°C, 相对湿度不大于 85%

1.3 测量标准:

仪器名称:交流测试系统, 型号:TAC-A, 编号:05075080, 量程:(0.01~100)A, 准确度级别:0.05 级;

仪器名称:数字多用表, 型号:8846A, 编号:3507023, 量程:(100 μ A~10)A, 准确度级别:0.05 级;

仪器名称:标准电流互感器, 型号:HL257, 编号: 11020, 量程: (5~5000)A/5A, 准确度级别:0.02 级

1.4 被测对象: 互感器伏安特性试验装置及其相同功能的此类设备（交流电流部分）

1.5 测量方法: 当被校测试仪输入的伏安特性交流电流量程在 100A 以下时, 采用交流测试系统作为测量标准进行测量, 交流测试系统所输入的标准电流值与被校测试仪电流显示值之差即为伏安特性交流电流的示值误差。

当被校测试仪输入的伏安特性交流电流量程在 100A 以上时，采用标准电流互感器作测量标准，利用升流器进行升流，由数字多用表对电流进行实时监测。将测量标准交流电流输出端与被校测试仪的伏安特性交流电流输入端相连接，测量标准输入值在被校测试仪上显示，数字多用表读取数值乘以标准电流互感器相应变比所得值与被校测试仪电流显示值之差即为伏安特性交流电流的示值误差。

1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测量，一般可直接使用本不确定度的评定方法。

2. 测量模型

2.1 交流电流量程小于 100A： $\Delta I = I_X - I_N$

ΔI ——交流电流示值误差，V

I_X ——被测仪器表示值，V

I_N ——标准器读数值，V

根据不确定度合成原理，交流电流误差合成标准不确定度计算公式为：

$$u_c^2(\Delta I) = C_1^2 u_A^2(\Delta I) + C_2^2 u(\varepsilon)^2$$

$u_A(\Delta I)$ ——被检仪器误差重复性引入的标准不确定度，A；

$u(\varepsilon)$ ——标准器测量引入的标准不确定度，A；

C_1 、 C_2 为各项灵敏系数。

2.2 交流电流量程大于 100A： $\Delta I = I_X - kI_N$

ΔI ——伏安特性交流电流示值误差，A

I_X ——被测仪器表示值，A

I_N ——标准器读数值，A

k ——电流互感器变比，A/A。

根据不确定度合成原理，交流电流误差合成标准不确定度计算公式为：

$$u_c^2(\Delta I) = u_A^2(\Delta I) + C_1^2 u(\varepsilon)^2 + C_2^2 u(k)^2$$

$u_A(\Delta I)$ ——被检仪器误差重复性引入的标准不确定度，A；

$u(\varepsilon)$ ——标准器测量引入的标准不确定度，A；

$u(k)$ ——电流互感器引入的标准不确定度；

C_1 、 C_2 为各项灵敏系数。

3. 标准不确定度的 A 类评定

对被测仪器的伏安特性交流电流 1A，10A，100A，1000A，5000A 分别进行 10 次

连续测量，得到测量结果如下表所示：

交流电流测量结果 单位：A

次数 结果	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.001	1.003	1.001	1.002	1.001	1.002	1.003	1.001	1.002	1.003
10	10.06	10.05	10.07	10.08	10.08	10.06	10.07	10.06	10.08	10.05
100	101.1	100.6	100.7	100.9	100.8	100.6	100.8	101.2	100.7	100.9
1000	1019	1013	1017	1016	1011	1015	1012	1016	1013	1018
5000	5058	5083	5069	5077	5093	5053	5086	5076	5066	5095

用贝塞尔公式计算测量结果，可得 A 类评定的不确定度分量，计算公式为：

$$u_A(\Delta I) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{Ni} - I_N)^2}{n-1}}$$

式中： $u_A(\Delta I)$ —被检仪器误差重复性引入的标准不确定度，A；

I_{Ni} —第 i 次独立测量结果，A；

I_N — n 次独立测量结果平均值，A；

n — $n = 10$

计算得到：

$$u_A(\Delta I) = 0.000876A(1A), u_A(\Delta I) = 0.011738A(10A), u_A(\Delta I) = 0.200278A(100A),$$

$$u_A(\Delta I) = 2.666667A(1000A), u_A(\Delta I) = 14.143707A(5000A)$$

4. 标准不确定度的 B 类评定

根据交流测试系统的校准证书，其在交流电流下测量最大允许误差为 $\pm 0.05\%$ ，按矩形分布估计。所测得的伏安特性交流电压输出值的平均值分别为 1.0019A，10.066A，100.83A，则测量引入的标准不确定度为：

$$u(\varepsilon) = 0.00029A(1A), u(\varepsilon) = 0.00291A(10A), u(\varepsilon) = 0.02911A(100A),$$

根据数字多用表校准证书，其最大允许误差为 $\pm 0.05\%$ ，按矩形分布估计。所测得的伏安特性交流电流输出值的平均值为 1015.0A，5075.6A，数字多用表显示值的平均值为 5.075A，5.0756A，则测量引入的标准不确定度为：

$$u(\varepsilon) = 0.00147A(1000A), u(\varepsilon) = 0.00147A(5000A),$$

电流互感器变比 k 引入的标准不确定度分量

根据电流互感器检定证书，电流互感器最大允许误差为 $\pm 0.02\%$ ，按照矩形分布估计，

电流互感器变比 k 引入的标准不确定度为:

$$u(k) = 200 \times \frac{0.02\%}{\sqrt{3}} = 0.02309 \text{ (额定变比为 } 1000\text{A}/5\text{A)}$$

$$u(k) = 1000 \times \frac{0.02\%}{\sqrt{3}} = 0.11547 \text{ (额定变比为 } 5000\text{A}/5\text{A)}$$

5. 灵敏系数

5.1 交流电流量程小于 100A:

$$C_1 = \frac{\partial \Delta I}{\partial \Delta I_x} = 1, \quad C_2 = \frac{\partial \Delta I}{\partial \Delta I_N} = -1$$

5.2 交流电流量程大于 100A:

$$C_1 = \frac{\partial \Delta I}{\partial \Delta I_x} = -200, \quad C_2 = \frac{\partial \Delta I}{\partial \Delta k} = -5.075A \text{ (额定变比为 } 1000\text{A}/5\text{A)}$$

$$C_1 = \frac{\partial \Delta I}{\partial \Delta I_x} = -1000, \quad C_2 = \frac{\partial \Delta I}{\partial \Delta k} = -5.032A \text{ (额定变比为 } 5000\text{A}/5\text{A)}$$

6. 合成标准不确定度

6.1 交流电流量程小于 100A:

被检仪器交流电压误差的合成不确定为:

$$u_c(\Delta I) = 0.00092A(1A), \quad u_c(\Delta I) = 0.01209A(10A), \quad u_c(\Delta I) = 0.20238A(100A),$$

则相对合成标准不确定度为:

$$u_{\text{crel}}(\Delta I) = 0.09\%(1A), \quad u_{\text{crel}}(\Delta I) = 0.12\%(10A), \quad u_{\text{crel}}(\Delta I) = 0.20\%(100A)。$$

6.2 交流电流量程大于 100A:

输入量	标准不确定度	分布	灵敏度系数	合成标准不确定度	相对合成标准不确定度
$u_A(\Delta I)$	2.666667A	正态	+1	2.6852737A	0.27%
$u(\varepsilon)$	0.00147A	矩形	-200		
$u(k)$	0.02309	矩形	-5.075A		
$u_A(\Delta I)$	14.143707A	正态	+1	14.231264A	0.28%
$u(\varepsilon)$	0.00147A	矩形	-1000		
$u(k)$	0.11547	矩形	-5.0756A		

7. 测量不确定度的报告与表示

取 $k=2$, 则伏安特性交流电流各测量范围的相对扩展不确定度为:

$$(1\sim 10)\text{A}: U_{\text{rel}}=0.24\%; \quad (10\sim 100)\text{A}: U_{\text{rel}}=0.40\%;$$

$$(100\sim 1000)\text{A}: U_{\text{rel}}=0.54\%; \quad (1000\sim 5000)\text{A}: U_{\text{rel}}=0.57\%。$$

三、电压互感器基本误差：

1. 概述

1.1 测量依据：JJF (闽) XXXX-20XX 互感器伏安特性试验装置校准规范

1.2 测量环境条件：温度(15~35)℃，相对湿度不大于 85%

1.3 测量标准：

仪器名称:双级电压互感器，型号:HJS1，编号:8209，量程:(2000~10000)V/100V，准确度:0.01 级

1.4 被测对象：互感器伏安特性试验装置及相同功能的此类设备（电压互感器基本误差）

2. 测量模型

比值差： $f_x = -f_0 + f_p$

f_0 ——测试仪所测量到的比值差；

f_p ——标准电压互感器在相应校准点的比值差；

f_x ——测试仪的比值差。

相位差： $\delta_x = -\delta_0 + \delta_p$

δ_0 ——测试仪所测量到的相位差；

δ_p ——标准电压互感器在相应校准点的相位差；

δ_x ——测试仪的相位差。

3. 标准不确定度分量的评定

3.1 重复性引入的不确定度

用标准电压互感器，在10000V/100V档、100%额定电压点时，在重复条件下进行10次独立测量得到测量列（每次测量均重新接线），见下表。

比值差测试数据

单位：%

测量次数 额定电压	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20%	+0.32	+0.39	+0.31	+0.33	+0.39	+0.31	+0.38	+0.37	+0.36	+0.35
50%	+0.25	+0.21	+0.22	+0.28	+0.23	+0.21	+0.27	+0.26	+0.25	+0.27
80%	+0.08	+0.03	+0.06	+0.06	+0.07	+0.03	+0.07	+0.03	+0.07	+0.09
100%	+0.04	+0.03	+0.08	+0.02	+0.05	+0.06	+0.09	+0.06	+0.05	+0.08
120%	+0.03	+0.04	+0.02	+0.05	+0.08	+0.09	+0.06	+0.05	+0.04	+0.08

相位差测试数据

单位：′

测量次数 额定电压	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20%	+9.3	+8.6	+8.9	+9.6	+8.7	+9.5	+9.2	+9.1	+8.9	+8.8

相位差测试数据 (续)

单位: '

测量次数 额定电压	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20%	+9.3	+8.6	+8.9	+9.6	+8.7	+9.5	+9.2	+9.1	+8.9	+8.8
50%	+8.5	+8.6	+8.3	+7.8	+9.1	+8.3	+8.8	+7.8	+7.9	+7.2
80%	+2.7	+3.6	+1.7	+3.7	+1.7	+2.5	+2.9	+2.6	+2.1	+3.2
100%	+2.9	+1.7	+1.8	+2.8	+3.7	+1.8	+2.7	+2.4	+3.3	+1.8
120%	+2.8	+3.7	+1.7	+1.8	+1.9	+1.7	+2.9	+2.7	+2.4	+3.3

根据公式

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2}{n-1}}$$

可得比值差和相位差各额定电流百分点的实验标准差分别如下表所示:

比值差数据

单位: %

额定电压 项目	20%	50%	80%	100%	120%
S	0.032	0.026	0.022	0.023	0.023
$u_1(f_x)$	0.032	0.026	0.022	0.023	0.023

相位差数据

单位: '

额定电压 项目	20%	50%	80%	100%	120%
S	0.34	0.56	0.71	0.71	0.71
$u_1(\delta_x)$	0.34	0.56	0.71	0.71	0.71

3.2 标准器引入的不确定度

标准器引入的误差不大于被校基本误差限值的 1/5, 标准器引入的不确定度按均匀分布估计, 如下表所示:

比值差数据

单位: %

额定电压 项目	20%	50%	80%	100%	120%
$u_2(f_x)$	0.115	0.087	0.058	0.058	0.058

相位差数据

单位: '

额定电压 项目	20%	50%	80%	100%	120%
$u_2(f_x)$	4.62	3.46	2.31	2.31	2.31

3.3 负载响应能力引入的不确定度

当负载响应时被校仪器输出信号的变化根据实际情况的合理性，确定为误差限值的1/10，按正态分布估计分别如下表所示：

项目 \ 额定电压	20%	50%	80%	100%	120%
$u_3(f_x)$	0.033	0.025	0.017	0.017	0.017

项目 \ 额定电压	20%	50%	80%	100%	120%
$u_3(f_x)$	1.33	1.00	0.67	0.67	0.67

3.4 上级标准的传递误差引入的不确定度

使用0.002级双级电压互感器来检定本次校准使用的标准器，传递误差引入的不确定度按均匀分布估计为： $u_4(f_x) = 0.002\% / \sqrt{3} = 0.0012\%$ ， $u_4(\delta_x) = 0.069' / \sqrt{3} = 0.04'$

3.5 被校仪器误差修约引入的不确定度

0.5级被校测试仪比值差的修约间隔为0.05%，分散区间的半宽为0.025%；相位差的修约间隔为2'，分散区间的半宽为1'。误差修约引入的不确定度按均匀分布估计为： $u_5(f_x) = 0.025\% / \sqrt{3} = 0.014\%$ ， $u_5(\delta_x) = 1' / \sqrt{3} = 0.577'$

4. 不确定度分量及合成标准不确定度一览表见下表所示。

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度				
		20% U_n	50% U_n	80% U_n	100% U_n	120% U_n
$u_1(f_x)$	重复性	0.032	0.026	0.022	0.023	0.023
$u_2(f_x)$	标准器	0.115	0.087	0.058	0.058	0.058
$u_3(f_x)$	负载响应能力	0.033	0.025	0.017	0.017	0.017
$u_4(f_x)$	上级标准的传递误差	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
$u_5(f_x)$	被校仪器误差修约引入	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
$u_c(f_x)$	合成不确定度	0.125	0.096	0.067	0.067	0.067

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度				
		20% U_n	50% U_n	80% U_n	100% U_n	120% U_n
$u_1(f_x)$	重复性	0.34	0.56	0.71	0.71	0.71
$u_2(f_x)$	标准器	4.62	3.46	2.31	2.31	2.31
$u_3(f_x)$	负载响应能力	1.33	1.00	0.67	0.67	0.67
$u_4(f_x)$	上级标准的传递误差	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
$u_5(f_x)$	被校仪器误差修约引入	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58

相位差数据 (续)

单位: ′

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度				
		20% U_n	50% U_n	80% U_n	100% U_n	120% U_n
$u_c(f_x)$	合成不确定度	4.87	3.72	2.61	2.61	2.61

5. 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则变比为 10000V/100V 时，比值差和相位差各额定电压百分点的扩展不确定度表示见下表。

额定电压	比值差	相位差
20%	$U=0.25\%$, $k=2$	$U=9.7'$, $k=2$
50%	$U=0.19\%$, $k=2$	$U=7.4'$, $k=2$
80%~120%	$U=0.13\%$, $k=2$	$U=5.0'$, $k=2$

附录 A

校准原始记录格式

互感器伏安特性试验装置原始记录

委托单位				记录编号	
样品	名称			型号规格	
	制造厂			出厂编号	
技术依据					
校准地点				温 度	℃
				相对湿度	%

标准器	名称	型号规格	测量范围	溯源机构/证书编号
		出厂编号	准确度等级或最大允差 或不确定度	有效期限
	名称	型号规格	测量范围	溯源机构/证书编号
		出厂编号	准确度等级或最大允差 或不确定度	有效期限
	名称	型号规格	测量范围	溯源机构/证书编号
		出厂编号	准确度等级或最大允差 或不确定度	有效期限

校准原始记录格式 (续)

互感器伏安特性试验装置原始记录

校准结果:

1、外观和通电检查:

2、电压示值:

被校测试仪显示值 (V)	被校测试仪实际值 (V)	相对误差 (%)

3、电流示值:

被校测试仪显示值 (A)	被校测试仪实际值 (A)	相对误差 (%)

4、互感器变比及极性:

标准变比 (V/V)	显示变比 (V/V)	相对误差 (%)	标准极性	显示极性	极性判断
					<input type="checkbox"/> 正确 <input type="checkbox"/> 错误
					<input type="checkbox"/> 正确 <input type="checkbox"/> 错误
					<input type="checkbox"/> 正确 <input type="checkbox"/> 错误
					<input type="checkbox"/> 正确 <input type="checkbox"/> 错误
					<input type="checkbox"/> 正确 <input type="checkbox"/> 错误

校准原始记录格式（续）

互感器伏安特性试验装置原始记录

校准结果：

标准变比 (A/A)	显示变比 (A/A)	相对误差 (%)	标准极性	显示极性	极性判断
					<input type="checkbox"/> 正确 <input type="checkbox"/> 错误
					<input type="checkbox"/> 正确 <input type="checkbox"/> 错误
					<input type="checkbox"/> 正确 <input type="checkbox"/> 错误
					<input type="checkbox"/> 正确 <input type="checkbox"/> 错误
					<input type="checkbox"/> 正确 <input type="checkbox"/> 错误

5、基本误差：

电压部分：

量限 (V/V)	误差	额定电压百分值					二次负荷
		20%	50%	80%	100%	120%	
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$

校准原始记录格式 (续)

互感器伏安特性试验装置原始记录

校准结果:

电流部分:							
量限 (A/A)	误差	额定电压百分值					二次负荷
		1%	5%	20%	100%	120%	
	比值差 (%)						VA
	相位差 (′)						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (′)						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (′)						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (′)						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (′)						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (′)						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (′)						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (′)						$\cos\varphi=$

6、二次回路负载:		
标准器示值 (Ω)	被校测试仪显示值 (Ω)	相对误差 (%)

本次测量结果的不确定度:

附录 B

校准证书内页格式

校准结果:

1、外观和通电检查:

2、电压示值:

被校测试仪显示值 (V)	被校测试仪实际值 (V)	相对误差 (%)

3、电流示值:

被校测试仪显示值 (A)	被校测试仪实际值 (A)	相对误差 (%)

4、互感器变比及极性:

标准变比 (V/V)	显示变比 (V/V)	相对误差 (%)	标准极性	显示极性	极性判断

校准证书内页格式 (续)

校准结果:

标准变比 (A/A)	显示变比 (A/A)	相对误差 (%)	标准极性	显示极性	极性判断

5、基本误差:

电压部分:

量限 (V/V)	误差	额定电压百分值					二次负荷
		20%	50%	80%	100%	120%	
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$

校准证书内页格式 (续)

校准结果:

电流部分:							
量限 (A/A)	误差	额定电压百分值					二次负荷
		1%	5%	20%	100%	120%	
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$
	比值差 (%)						VA
	相位差 (')						$\cos\varphi=$

6、二次回路负载:		
标准器示值 (Ω)	被校测试仪显示值 (Ω)	相对误差 (%)

本次测量结果的不确定度:

