

ICS 29.240.01
K 43
备案号: 40051-2013

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1221 — 2013

互感器综合特性测试仪通用技术条件

Universal specification for transformer characteristic tester

2013-03-07 发布

2013-08-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 型号命名与功能分类	1
5 技术要求	2
6 试验方法	5
7 检验规则	9
8 标志、标签和使用说明书	10
9 包装、运输和储存	11
附录 A (资料性附录) 电流互感器励磁特性误差试验方法	12

前 言

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由全国高电压试验技术标准化分技术委员会（SAC/TC163/SC1）归口。

本标准主要起草单位：浙江省电力公司电力科学研究院、中国电力科学研究院、广东电网公司电力科学研究院、广西电网公司电力科学研究院、云南电力试验研究院、湖北省电力公司电力科学研究院、河北省电力研究院、四川电力科学研究院、上海思创电器设备有限公司、苏州华电电气股份有限公司、武汉市豪迈电力自动化技术有限公司。

本标准主要起草人：许灵洁、张军、雷民、姚森敬、尹立群、梁仕斌、姚尧、范辉、罗涛、朱斌、余青、姜向龙。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

互感器综合特性测试仪通用技术条件

1 范围

本标准规定了互感器综合特性测试仪（以下简称测试仪）的术语定义、型号命名与功能分类、技术要求、试验方法、检验规则以及标志等要求。

本标准适用于互感器励磁特性等试验的互感器综合特性测试仪的设计、制造、试验和使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 1208 电流互感器

GB/T 6587—2012 电子测量仪器通用规范

GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则

GB 11463—1989 电子测量仪器可靠性试验

GB 16847—1997 保护用电流互感器暂态特性技术要求

3 术语和定义

GB 1208、GB 16847 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

互感器综合特性测试仪 transformer characteristic tester

用于保护用互感器励磁特性试验，并具有对互感器进行绕组极性判别、变比检查、复合误差测量等功能的仪器，不具有在额定一次电流下误差测量的能力。

3.2

变比 transformer ratio

指电流互感器的电流比或电压互感器的电压比。

3.3

变比检查 transformer ratio check

被试互感器的实际变比与铭牌标称值一致性的检查。

4 型号命名与功能分类

4.1 型号命名

测试仪的型号命名规定见图 1。

其中，铁心励磁特性确定方法代号规定如下：

I——交流法（工频法）；

II——交流法（低频法）；

III——直流饱和法；

IV——电容放电法。

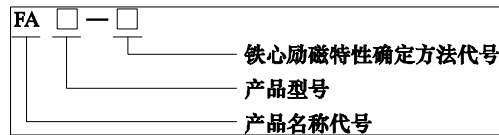


图 1 测试仪的型号命名规定

4.2 功能分类

互感器综合特性测试仪的功能组合见表 1。

表 1 互感器综合特性测试仪的功能组合

功能组	被测对象类型	测试项目											
		极性判别	变比检查	二次回路阻抗测量	励磁特性试验								
					励磁特性曲线测量	二次绕组电阻测量	额定拐点电动势测量	复合误差测量	额定暂态面积系数测量	峰值瞬时误差测量	二次时间常数测量	剩磁系数测量	
1	P 类电流互感器	+	+	×	+	×	×	×	-	-	-	-	
2	TP 类电流互感器	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	
3	电压互感器	+	+	×	+	×	-	-	-	-	-	-	

注：符号“+”表示必备的测试能力；“-”表示不必要具备的测试能力；“×”表示不强制规定的测试能力。

根据各种测试仪的设计、应用对象和测量功能组合的不同，其类型分为 A、B、C、D 四类：

A 类：只适用于对 P 类电流互感器测试，要求具备表 1 中功能组 1 的测试能力；

B 类：适用于对 P 类电流互感器及电压互感器测试，要求具备表 1 中功能组 1 和 3 的测试能力；

C 类：适用于对 P 类及 TP 类电流互感器测试，要求具备表 1 中功能组 1 和 2 的测试能力；

D 类：适用于对 P 类、TP 类电流互感器及电压互感器测试，要求具备表 1 中功能组 1、2、3 的测试能力。

5 技术要求

5.1 环境条件

环境温度： $\bar{\tau} 10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ ；

环境湿度： $\leq 85\% \text{RH}$ 。

5.2 工作电源

测试仪在以下供电电源条件下，应能正常工作：

——电源电压： $220 (1 \pm 10\%) \text{V}$ 或 $380 (1 \pm 10\%) \text{V}$ ；

——频率： $(50 \pm 0.5) \text{Hz}$ ；

——波形：正弦波，波形失真度不大于 5%。

5.3 主要技术参数

5.3.1 绕组极性判别

在互感器一、二次接线正确的情况下，应能正确判断互感器极性是“减极性”或“加极性”。发现

极性错误时应能明显提示或声光报警。

5.3.2 变比检查

测试仪的变比检查应满足以下要求：

- 能显示互感器的实测变比，测量误差不低于 1%；
- 采用电流法检查电流比的测试仪，其最大输出电流不低于 600A。

5.3.3 二次回路阻抗测量

测试仪的二次回路阻抗测量应满足以下要求：

- 具有 1A 和 5A 工频交流电流输出选择功能，二次回路阻抗测量误差不低于 1%；
- 最大二次回路阻抗测量能力不低于 10 Ω 。

5.3.4 电流互感器励磁特性测量

5.3.4.1 通用要求

5.3.4.1.1 工频交流法

对于采用工频交流法进行励磁特性试验的测试仪，其最大输出电流不低于 5A，最大输出电压一般不应超过 2000V。

5.3.4.1.2 低频法

对于采用 GB 16847—1997 附录 B 中低频法进行励磁特性试验的测试仪，应具有输出电流、电压保持功能，最高输出电压应不低于 100V。其电流表测量误差应不低于 0.5%，电压表测量误差应不低于 1%。

5.3.4.1.3 直流饱和法

对于采用 GB 16847—1997 附录 B 中直流饱和法进行励磁特性试验的测试仪，其所选直流输出电压应可调，测量时电压应略高于二次绕组电阻与最大励磁电流的乘积。

5.3.4.1.4 电容放电法

对于采用 GB 16847—1997 附录 B 中电容放电法进行励磁特性试验的测试仪，电容器的充电电压应能使被试电流互感器二次绕组两端产生的电压时间积分等于或大于额定等效励磁二次极限电压。

5.3.4.1.5 自动测量法

自动测量励磁特性的测试仪，应采用数据表格和曲线图表示励磁特性。励磁特性曲线图中电流、电压的变化应具有单调增加的规律。

在测试仪测得（20%~110%）额定拐点电动势的范围内，励磁特性曲线与参考励磁特性曲线相比较，在相同的电压示值下，电流示值的绝对误差应不大于 0.125X，单位为 A，其中 X 是测得的电压与额定拐点电动势的比值。

在测试仪测得的大于 110%额定拐点电动势的范围内，励磁特性曲线与标准励磁特性曲线相比较，在相同的电压示值下，电流示值误差应不大于 25%。

测试仪二次绕组电阻（包括二次回路电阻）测量用直流电流的大小应为 0.5A~2.5A，并且输出电流大小应可选或可调；电阻范围为 0~150 Ω ，应能显示环境温度下测量的电阻值和校正到 75℃下的电阻值，其测量误差不低于 0.5%。

5.3.4.2 对 A 类、B 类测试仪的要求

除满足 5.3.4.1 的通用要求外，4.2 中 A 类、B 类测试仪还应满足下列要求：

- a) 励磁特性用电压方均根值和电流方均根值表示。
- b) 具有复合误差测量功能的测试仪，二次极限感应电势的计算误差应不大于 0.5%。在准确限值条件下，其复合误差的测量误差应不大于复合误差限值的 1/3。
- c) 具有额定拐点电动势测量功能的测试仪，额定拐点电动势的测量误差不大于 5%。
- d) 具有剩磁系数测量功能的测试仪，剩磁系数测量的绝对误差应不大于 2%。

5.3.4.3 对 C 类、D 类测试仪的要求

除满足 5.3.4.1 的通用要求外，4.2 中 C 类、D 类测试仪还应满足下列要求：

- a) 对于 P 类电流互感器, 励磁特性用电压方均根值和电流方均根值表示; 对于 TP 类电流互感器, 励磁特性用电压方均根值和电流峰值表示。
- b) 额定拐点电动势的测量结果误差应不大于 5%。
- c) 额定暂态面积系数的测量结果误差应不大于 1%。
- d) 剩磁系数的测量结果绝对误差应不大于 2%。
- e) 峰值瞬时误差的测量结果绝对误差应不大于 2.5%。

5.3.5 电压互感器励磁特性测量

对 B 类、D 类具有电压互感器励磁特性测量功能的测试仪, 除满足 5.3.4.1~5.3.4.3 中相应的规定外, 还应满足下列要求:

- a) 励磁特性应用电压方均根值和电流方均根值表示。
- b) 在 40V~190V 的电压范围内, 励磁特性曲线与标准励磁特性曲线相比较, 在相同的电压示值下, 电流示值误差应不大于 7.5%。
- c) 自动测量励磁特性的测试仪, 应能根据电压互感器的热极限输出确定最大允许电流, 并确保试验时输出的电流不超过最大允许电流。

5.3.6 保护功能要求

测试仪应具有过电流保护功能, 当输出电流超过测试仪的过流保护设定值时, 过电流保护应切断输出回路。

5.4 外观及标记

测试仪及配套器件外观应完好, 各转换开关、按钮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, 外壳上应有明显可靠的接地端子。

测试仪上应有型号、名称、原理接线图以及使用的频率、量程、允许误差、电压和电流工作范围、出厂编号、制造厂名等标记。

5.5 绝缘性能

5.5.1 绝缘电阻

测试仪的绝缘电阻应满足以下要求:

- a) 电源端子对机壳的绝缘电阻应不小于 $2M_{\Omega}$ 。
- b) 高压输出端子对机壳的绝缘电阻应不小于 $10M_{\Omega}$ 。

5.5.2 介电强度

测试仪的介电强度应满足下列要求:

- a) 电源电路与外壳之间的绝缘应能耐受频率为 50Hz、2kV 交流电压, 历时 1min。试验期间不应发生闪络或击穿。
- b) 高压输出端子与外壳之间的绝缘应能耐受频率为 50Hz、1.5 倍额定输出电压, 历时 1min。试验期间不应发生闪络或击穿。

5.6 工作电源频率与电压试验

按 GB/T 6587—2012 的规定, 测试仪的特性应符合产品标准的规定。

5.7 温度性能

测试仪应能承受 GB/T 6587—2012 中组别为 III 组的温度试验。

5.8 湿度性能

测试仪应能承受 GB/T 6587—2012 中组别为 II 组的湿度试验。

5.9 机械性能

5.9.1 振动试验 (正弦)

测试仪应能承受 GB/T 6587—2012 中组别为 II 组的振动试验。

5.9.2 冲击试验

测试仪应能承受 GB/T 6587—2012 中组别为 II 组的冲击试验。

5.9.3 运输试验

测试仪应能承受 GB/T 6587—2012 中组别为 II 组的运输试验。

5.10 可靠性

测试仪的平均无故障时间 (MTBF) 应不小于 3000h。

6 试验方法

6.1 试验条件

环境温度：10℃~30℃。

环境湿度：30%RH~70%RH。

6.2 外观及标记检查

按 5.4 的要求逐项进行检查。

6.3 主要功能及常规技术性能试验

6.3.1 功能检查

查阅测试仪的使用说明书，必要时进行通电操作。测试仪的型号类别标志和功能应符合 4.1、4.2 的规定。

6.3.2 示值误差试验

6.3.2.1 一般规定

具有暂停功能的测试仪，按 6.3.2.2 和 6.3.2.3 试验方法进行。进行示值误差试验时，所选标准器（标准测量系统）的实际误差应不大于被试测试仪允许误差的 1/3。

6.3.2.2 电压示值误差试验

具有外施电压示值误差试验功能的测试仪采用图 2 a) 的方法进行误差试验；内施电压示值误差试验功能的测试仪采用图 2 b) 的方法进行误差试验。

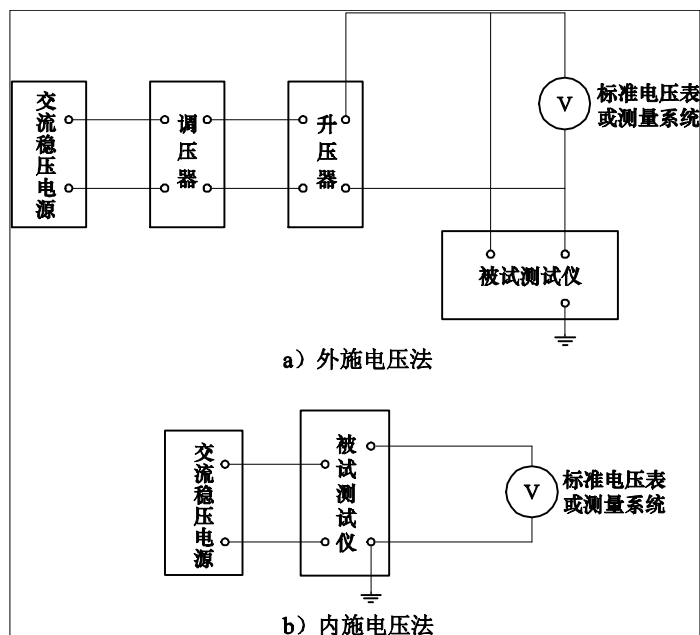


图 2 电压示值误差试验原理接线图

在被试测试仪的输出（测量）电压满量程范围内，均匀地选取试验点（或最近示值点），且不少于 5

点。

当被试测试仪最高测量电压不大于 650V 时，标准可选用量程不低于 700V 的数字多用表直接测量。

当被试测试仪最高测量电压大于 650V 时，标准应选用高压交流电压测量系统或标准电压互感器测量系统测量。

6.3.2.3 电流示值误差试验

具有外施电流示值误差试验功能的测试仪采用图 3 a) 的方法进行误差试验；内施电流示值误差试验功能的测试仪采用图 3 b) 的方法进行误差试验。

在被试测试仪的输出（测量）电流满量程范围内，均匀地选取试验点（或最近示值点），且不少于 5 点。

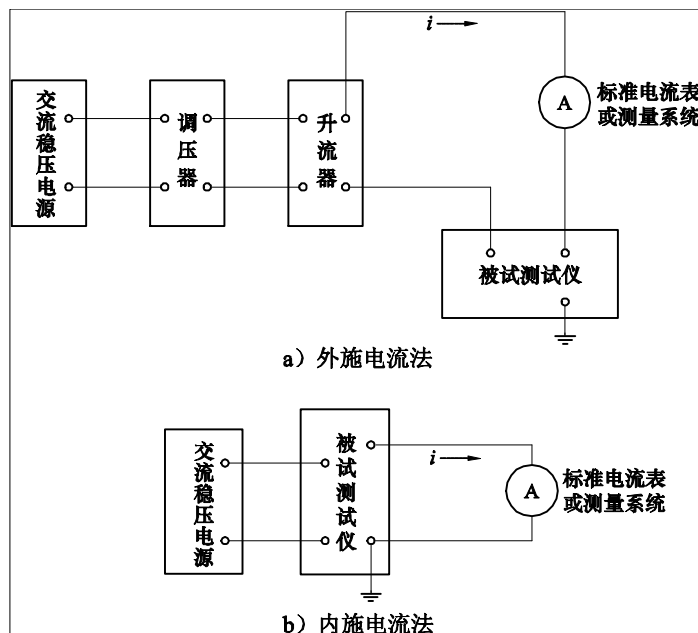


图 3 电流示值误差试验原理接线图

当被试测试仪测量电流不大于 3A 时，标准可选用量程不低于 3A 的数字多用表直接测量；当被试测试仪测量电流大于 3A 时，标准应选用额定二次电流为 1A 的标准电流互感器测量系统测量。

6.3.2.4 变比、极性试验

选用标准电流互感器作为标准，应至少选取 200、500、1000、2000、5000 在内的 5 个变比点和额定变比（电流互感器变比测量额定值大于 500 时）作为试验点。变比、极性试验原理接线图见图 4。

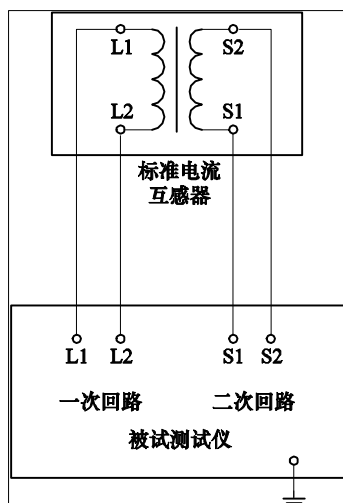


图 4 变比、极性试验原理接线图

6.3.2.5 二次回路阻抗测量误差试验

选用额定电流 1A 和 5A 的电流负荷箱作为标准，标准值由准确度不低于 0.2 级的互感器负荷箱校准装置、负荷测试仪和/或多功能数字表进行标定。

二次回路阻抗测量误差试验原理接线图见图 5。

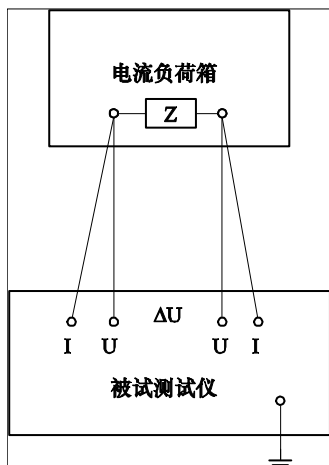


图 5 二次回路阻抗测量误差试验原理接线图

6.3.2.6 二次绕组电阻和二次回路电阻测量误差试验

选用额定电流 1A 的标准电阻箱作为标准，且至少应包括 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 Ω 在内的 10 个标准电阻值。

二次绕组电阻和二次回路电阻测量误差试验原理接线图见图 6。

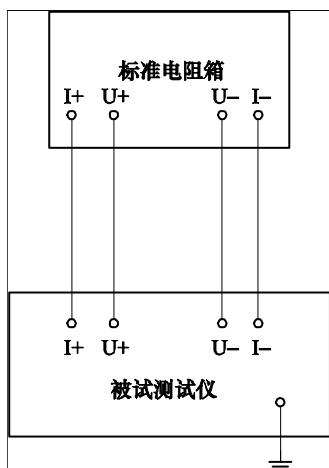


图 6 二次绕组电阻和二次回路电阻测量误差试验原理接线图

6.3.2.7 电流互感器励磁特性测量误差比对试验

6.3.2.7.1 采用多台性能稳定的电流互感器测量

采用多台性能稳定的电流互感器为比对用试品时，应符合以下要求：

- a) 励磁特性曲线的 20%~110% 额定拐点电动势的范围内，在相同电压示值下，电流示值的年变化量应不大于 $0.04X$ ，单位为 A。其中 X 是励磁特性曲线上对应的电压值与额定拐点电动势的

比值。

- b) 励磁特性曲线大于 110%额定拐点电动势的范围内，在相同电压示值下，电流示值的年变化应不大于 7.5%。
- c) 比对用试品采用冷扎硅钢片（或卷铁心）为铁心。
- d) 比对用试品宜具有多种分接头。
- e) 应具备绕组和二次端子能够承受 20kV 及以上电压的比对用试品。

6.3.2.7.2 采用工频（50Hz）交流法测量

采用工频（50Hz）交流法测量所得的励磁特性曲线作为参考励磁曲线。根据被试测试仪测量励磁特性的电压测量范围，励磁特性测量误差试验时选取 3 台以上标准试品，不少于 6 种分接头组合，且各种分接头的额定拐点电动势应近似地均匀分布在 30V 至测试仪的 100%的最大电压测量值之间。

6.3.2.7.3 被试测试仪测量

按被试测试仪说明书接线和操作，对选定的比对用试品的各个试验点进行励磁特性测量，在测得的励磁特性曲线上读取 10 个以上测量点对应的电流、电压测量值，其中额定拐点电动势附近应至少读取 4 个测量值，其余测量值应均匀地在曲线上读取，其测量励磁特性的测量误差比对试验结果应满足 5.3.4 的要求。

附录 A 为电流互感器励磁特性测量误差试验方法。

6.3.3 绝缘性能试验

6.3.3.1 绝缘电阻试验

进行电源端子对机壳的绝缘电阻试验时，测试仪应处于非工作状态，开关应置于接通位置，并使用 500V 的绝缘电阻表进行试验。试验结果应符合 5.5.1 a) 要求。

高压输出端子对机壳的绝缘电阻使用 2500V 的绝缘电阻表进行试验。试验结果应符合 5.5.1 b) 要求。

6.3.3.2 介电强度试验

介电强度试验结果应满足 5.5.2 要求。

6.3.4 电源频率与电压试验

按 GB/T 6587—2012 的试验方法进行试验，仪器的性能特性应符合 5.6 的要求。

6.3.5 温度试验

按 GB/T 6587—2012 之 5.9.1.2 规定的试验要求和 GB/T 6587—2012 之 5.9.1.3 试验方法进行，试验结果应符合 5.7 的要求。

6.3.6 湿度试验

按 GB/T 6587—2012 之 5.9.1.2 规定的试验要求和 GB/T 6587—2012 之 5.9.1.3 试验方法进行，试验结果应符合 5.8 的要求。

6.3.7 机械性能试验

6.3.7.1 振动试验（正弦）

按 GB/T 6587—2012 之 5.9.3.2 规定的试验要求和 GB/T 6587—2012 之 5.9.3.3 规定的试验方法进行，试验结果应符合 5.9.1 的要求。

6.3.7.2 冲击试验

按 GB/T 6587—2012 之 5.9.4.2 规定的试验要求和 GB/T 6587—2012 之 5.9.4.3 规定的试验方法进行，试验结果应符合 5.9.2 的要求。

6.3.7.3 运输试验

按 GB/T 6587—2012 之 5.10.1 规定的试验要求和 GB/T 6587—2012 之 5.10.2 规定的试验方法进行，试验结果应符合 5.9.3 的要求。

6.3.8 可靠性试验

按 GB 11463—1989 表 1 定时定数截尾试验方案 1-1 的规定进行。依据可靠性试验方案主要失效判据的规定，做出可靠性试验判决。

7 检验规则

7.1 检验分类和检验项目

产品检验分型式检验、出厂检验和常规检验，检验项目见表 2。

表 2 检 验 项 目

序号	检 验 项 目	型式检验	出厂检验	常规检验
1	外观及标记检查	●	●	●
2	功能检查	●	●	●
3	电压示值试验	●	●	●
4	电流示值试验	●	●	●
5	变比测量误差试验	●	●	●
6	二次回路阻抗测量误差试验	●	●	●
7	二次绕组电阻测量误差试验	●	●	●
8	二次回路电阻测量误差试验	●	●	●
9	复合误差测量误差试验	●	●	○
10	电流互感器励磁特性测量误差试验	●	●	○
11	绝缘电阻试验	●	●	●
12	介电强度试验	●	●	●
13	电源频率与电压试验	●	●	○
14	温度试验	●	○	○
15	湿度试验	●	○	○
16	振动试验	●	○	○
17	冲击试验	●	○	○
18	运输试验	●	○	○
19	可靠性试验	●	○	○

注：● 表示规定必做项目。

7.2 型式检验

7.2.1 型式检验的要求

下列情况之一应进行型式试验：

- 新产品定型鉴定前；
- 产品转厂生产定型鉴定前；
- 正式生产时，定期或累计一定产量后（周期和数量由企业标准规定）；
- 正式投产后，如设计、工艺材料、元器件有较大改变，可能影响产品性能时；
- 产品停产 1 年以上又重新恢复生产时；

- 国家技术监督机构或受其委托的技术检验部门提出型式检验要求时；
- 出厂检验结果与上批产品检验有较大差异时；
- 合同规定时。

7.2.2 型式检验的抽样与判定

从出厂检验合格的产品中任意抽取三台作为样品。

样品经过型式检验，未发现主要缺陷，则判定产品合格。检验中如发现有一个主要缺陷，则进行第二次抽样，重复进行型式检验。如未发现主要缺陷，仍判定该测试仪本次型式检验合格。如第二次抽样样品仍存在主要缺陷，则判定本次型式检验不合格。

测试仪样品型式检验结果达不到 5.3~5.9 规定要求的任一条时，均按存在主要缺陷判定。

检验中测试仪样品出现故障允许进行修复，修复内容如对已做过检验的项目的检验结果没有影响，可以继续往下进行检验。反之，受影响的检验项目应重做。

7.3 出厂检验

每件产品均需进行出厂检验。

7.4 常规检验

使用中的产品应每年检验一次。

8 标志、标签和使用说明书

8.1 标志

每台测试仪应在机箱的显著位置设置持久明晰的标志或铭牌，并标志下列内容：

- 测试仪的型号、代号及产品标准编号；
- 产品名称的全称；
- 制造厂名全称及商标；
- 技术指标；
- 原理接线图；
- 出厂年月及编号；
- 安全注意事项。

8.2 标签

测试仪的标签应有以下内容：

- 测试仪的名称、产品标准编号、商标；
- 生产企业名称、详细地址、产品原产地；
- 种类、规格、型号、等级；
- 许可证号。

8.3 使用说明书

测试仪的使用说明书应给出如何安全和正确地使用本设备的全部信息。测试仪的使用说明书的内容应符合 GB/T 9969 的规定，并包括下列内容：

- 工作原理框图；
- 主要技术指标及主要功能；
- 面板说明；
- 原理接线图；
- 操作规范或步骤；
- 安全注意事项；
- 产品成套性；
- 保修事项；

——常见故障及解决办法。

8.4 包装标志

包装箱上应以不易洗刷或脱落的涂料作如下标记：

- 发货厂名、产品名称、型号；
- 收货单位名称、地址、到站；
- 包装箱外形尺寸（长×宽×高）及毛重；
- 包装箱外面书写“防潮”、“向上”、“小心轻放”等字样。

9 包装、运输和储存

9.1 总则

测试仪的储存、运输极限环境温度为 $\nlessgtr 40^{\circ}\text{C}$ 、 $+60^{\circ}\text{C}$ ，在不施加任何激励量的条件下，不应出现不可逆变化。温度恢复后，测试仪的性能应符合 5.3 和 5.5 的规定。

应在产品的标准中规定包装、运输、储存要求或引用有关的包装、运输、储存标准。

9.2 包装

9.2.1 包装前的检查

- a) 产品的合格证（产品合格证的编写应符合 GB/T 14436 的规定）和技术文件、附件、备品、备件齐全；
- b) 装箱单和随机备附件清单齐全；
- c) 产品外观无损伤；
- d) 产品表面无灰尘。

9.2.2 包装的一般要求

产品应有内包装和外包装，可动部分应锁紧扎牢，包装应有防尘、防雨、防水、防潮、防震等措施。

9.3 运输

产品应适于陆运、空运、水运（海运），运输装卸按包装箱上的标志进行操作。

9.4 储存

包装完好的测试仪应满足本标准规定的储存运输要求，长期不用的测试仪应保留原包装，在相对湿度不大于 85% 的库房内储存，室内无酸、碱、盐及腐蚀性、爆炸性气体和灰尘以及雨、雪的伤害。

附 录 A
(资料性附录)

电流互感器励磁特性误差试验方法

分别用工频（50Hz）交流法和被试测试仪对几种特制电流互感器进行励磁特性测量，将两次测量所得数据进行比较得出误差，并进行性能判定的一种试验。

试验步骤如下：

第一步：如图 A.1 所示，采用交流法对特制的电流互感器进行励磁特性测量，从额定电流往下，以电流等倍率递减测试 60 个点，最小测试电流为 0.001 倍额定电流，记录 60 个点的电压，并根据 GB 1208 的拐点定义计算拐点电压和电流，以这组励磁数据作为标准数据（见表 A.1）。

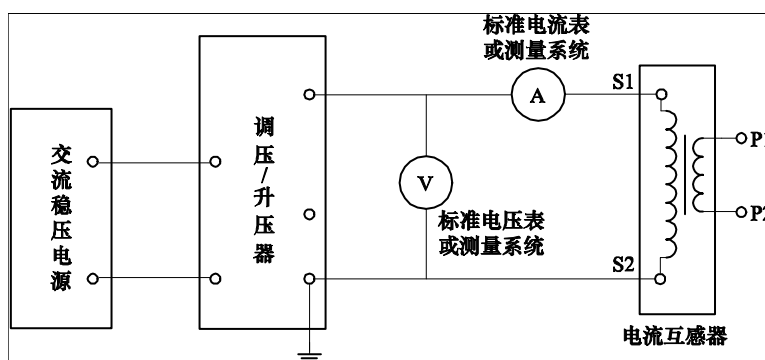


图 A.1 工频法对特制的互感器进行励磁特性曲线测量原理图

第二步：用被试测试仪对特制的互感器进行励磁特性测量，得到另一组励磁数据（见表 A.2）。

第三步：将上述两组励磁数据根据第一步中的计算方法得到拐点电流，在拐点电流之上的饱和段，选择两组数据共有的电流范围段，均匀取 10 个点，通过线性内插法分别计算两组数据中这 10 个点的电压、电压的相对误差以及这 10 个点误差的平方和的均方根值，得到励磁特性误差。

表 A.1 第一步和第二步得到的励磁数据

工频法得到的标准励磁数据		被试测试仪得到的励磁数据	
电流 (A)	电压 (V)	电流 (A)	电压 (V)
4.934	110.2	5.478 923	111.846 93
3.93	109.2	4.724 122	111.022 96
3.102	107.9	4.111 735	110.748 30
2.432	106.5	3.555 298	109.909 07
1.901	104.9	3.308 106	109.466 56
1.482 0	103.1	2.859 497	108.566 29
1.157 0	101.2	2.533 976	107.788 09
0.906 6	99.16	2.242 025	106.964 12
0.715 6	97.01	2.111 817	106.536 87
0.568 1	94.69	1.872 762	105.682 38

0.456 9	92.2	1.666 260	104.812 63
---------	------	-----------	------------

表 A.1 (续)

工频法得到的标准励磁数据		被试测试仪得到的励磁数据	
电流 (A)	电压 (V)	电流 (A)	电压 (V)
0.369 2	89.29	1.413 981	103.485 12
0.300 5	85.89	1.274 618	102.615 36
0.244 7	81.81	1.153 565	101.745 61
0.225 8	79.97	1.012 879	100.845 34
0.209 6	78.17	0.919 698	99.960 33
0.194 0	76.18	0.809 835	98.678 60
0.179 6	74.12	0.708 517	97.351 08
0.166 6	71.90	0.649 618	96.481 33
0.154 5	69.58	0.574 137	95.214 85
0.143 4	67.16	0.511 475	93.963 63
0.133 3	64.64	0.458 374	92.697 14
0.123 8	62.00	0.398 661	90.911 87
0.115 1	59.30	0.360 616	89.477 54
0.095 73	52.07	0.317 790	87.493 90
0.078 64	43.75	0.282 593	85.403 44
0.062 21	35.55	0.253 703	83.297 73
0.049 42	26.18	0.224 304	80.612 18
0.038 26	17.93	0.200 602	77.926 64
0.033 06	13.59	0.180 766	75.195 31
0.023 66	8.268	0.161 235	71.929 93
0.016 85	5.030	0.142 517	68.054 20
0.011 99	3.059	0.127 157	64.193 73
0.008 548	1.861	0.114 237	60.318 00
0.005 628	1.001	0.100 515	55.328 37
—	—	0.089 803	50.308 23
—	—	0.080 007	44.738 77
—	—	0.071 543	39.154 05
—	—	0.063 782	33.554 08
—	—	0.060 649	31.301 88
—	—	0.059 896	30.740 36
—	—	0.059 163	30.183 41
—	—	0.058 431	29.624 94
—	—	0.057 688	29.066 47

—	—	0.056 966	28.506 47
—	—	0.056 224	27.951 05
—	—	0.055 491	27.392 58

表 A.1 (续)

工频法得到的标准励磁数据		被试测试仪得到的励磁数据	
电流 (A)	电压 (V)	电流 (A)	电压 (V)
—	—	0.054 759	26.834 11
—	—	0.054 016	26.271 06
—	—	0.053 284	25.717 16
—	—	0.052 541	25.154 12
—	—	0.051 809	24.592 59
—	—	0.051 066	24.038 70
—	—	0.050 313	23.477 17
—	—	0.049 571	22.918 70
—	—	0.048 818	22.357 18
—	—	0.048 055	21.797 18
—	—	0.047 302	21.243 29
—	—	0.046 539	20.680 24
—	—	0.045 766	20.126 34
—	—	0.044 973	19.558 72
—	—	0.044 200	19.004 82
—	—	0.043 406	18.444 82
—	—	0.042 613	17.884 83
—	—	0.041 799	17.327 88
—	—	0.040 985	16.766 36
—	—	0.040 161	16.204 83
—	—	0.039 327	15.647 89
—	—	0.038 472	15.087 89
—	—	0.037 608	14.529 42
—	—	0.036 743	13.967 90
—	—	0.035 848	13.407 90
—	—	0.034 943	12.850 95
—	—	0.034 017	12.289 43
—	—	0.033 081	11.734 01
—	—	0.032 125	11.172 49
—	—	0.031 138	10.614 01
—	—	0.030 131	10.050 97

—	—	0.029 104	9.494 02
—	—	0.028 056	8.935 55
—	—	0.026 957	8.375 55
—	—	0.025 848	7.818 60

表 A.1 (续)

工频法得到的标准励磁数据		被试测试仪得到的励磁数据	
电流 (A)	电压 (V)	电流 (A)	电压 (V)
—	—	0.024 668	7.257 08
—	—	0.023 427	6.700 13
—	—	0.022 085	6.141 66
—	—	0.020 579	5.583 19
—	—	0.018 290	4.464 72
—	—	0.016 927	3.906 25
—	—	0.015 106	3.347 78
—	—	0.013 479	2.792 66
—	—	0.011 709	2.232 36
—	—	0.009 745	1.673 58
—	—	0.007 507	1.117 86
—	—	0.004 771	0.563 66
—	—	0.000 793	0.066 62

根据工频法得到的标准励磁数据，按照标准 GB 1208 拐点的定义计算，得到拐点电压和拐点电流为 79.69V，0.223 2A。在拐点电流之上，取以下 10 个点（见表 A.2），并用线性插值法计算这些点对应的工频法标准励磁电压和被试测试仪得到的励磁电压。

表 A.2 线性插值法计算得出的励磁数据

10 个电流点 (A)	工频法标准励磁电压 U_{REF} (V)	被试测试仪测得的励磁电压 U_s (V)	电压误差 (%)
0.25	82.197 5	82.959 4	0.926 914
0.5	93.165 0	93.689 9	0.563 409
1.0	99.920 9	100.723 0	0.802 735
1.5	103.177 3	103.937 7	0.736 984
2.0	105.198 3	106.137 1	0.892 410
2.5	106.642 0	107.692 1	0.984 696
3.0	107.686 8	108.848 2	1.078 498
3.5	108.524 8	109.810 0	1.184 245
4.0	109.269 7	110.579 7	1.198 868
4.5	109.767 7	110.922 4	1.051 949

励磁特性误差 (%)	0.96
------------	------

电压误差计算式为：

$$v = \frac{(U_S - U_{REF})}{U_{REF}} \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

式中：

v —— 电压误差，%；

U_{REF} —— 工频法标准励磁电压，V；

U_S —— 被试测试仪测得的励磁电压，V。

用式 (A.2) 计算这 10 个误差的平方和的均方根值，得到励磁特性误差：

$$a_{all} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} v_i^2}{10}} \quad (\text{A.2})$$

式中：

a_{all} —— 励磁特性误差，%；

v —— 电压误差，%。