

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1694.9—2021

高压测试仪器及设备校准规范

第9部分：电力变压器空、负载损耗测试仪

Calibration specification for high voltage test instruments —
Part 9: Power transformer no-load and load loss tester

杭州高电
专业高试铸典范

Professional high voltage test

2021-12-22 发布

2022-06-22 实施

高压测量仪器智造 | 电力试验工程服务

国家能源局 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 概述	1
5 计量特性	2
6 校准条件	2
7 校准项目和校准方法	3
8 校准结果表达	7
9 复校时间间隔	7
附录 A（规范性） 采用标准表法校准	8
附录 B（资料性） 电流测量不确定度示例	11
附录 C（资料性） 校准证书原始记录内页格式	14
附录 D（资料性） 校准证书（报告）内页格式	17
参考文献	20

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 DL/T 1694《高压测试仪器及设备校准规范》的第9部分。DL/T 1694 已经发布了以下部分：

- 第1部分：特高频局部放电在线监测装置；
- 第2部分：电力变压器分接开关测试仪；
- 第3部分：高压开关动作特性测试仪；
- 第4部分：绝缘油耐压测试仪；
- 第5部分：氧化锌避雷器阻性电流测试仪；
- 第6部分：电力电缆超低频介质损耗测试仪；
- 第7部分：综合保护测控装置 电测量；
- 第8部分：电力电容电感测试仪；
- 第9部分：电力变压器空、负载损耗测试仪。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国高电压试验技术和绝缘配合标准化技术委员会高电压试验技术标准化分技术委员会（SAC/TC 163/SC 1）归口。

本文件起草单位：国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院、杭州市质量技术监督检测院、中国计量科学研究院、国网冀北电力有限公司电力科学研究院、中国电力科学研究院有限公司、杭州高电科技有限公司、杭州群特电气有限公司、武汉磐电科技股份有限公司、国网山西省电力有限公司电力科学研究院、国网陕西省电力有限公司电力科学研究院、广州供电局有限公司电力试验研究院。

本文件主要起草人：王一帆、王异凡、朱振华、范俊杰、王昊、谢丽芳、陈习文、张韬、丁建军、孙军、王伟、王荆、苏海博。

本文件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）。

引 言

DL/T 1694《高压测试仪器及设备校准规范》旨在对高压测试仪器的校准进行规范，拟由 9 个部分构成。

- 第 1 部分：特高频局部放电在线监测装置。目的在于规范特高频局部放电在线监测装置的校准。
- 第 2 部分：电力变压器分接开关测试仪。目的在于规范电力变压器分接开关测试仪的校准。
- 第 3 部分：高压开关动作特性测试仪。目的在于规范高压开关动作特性测试仪的校准。
- 第 4 部分：绝缘油耐压测试仪。目的在于规范绝缘油耐压测试仪的校准。
- 第 5 部分：氧化锌避雷器阻性电流测试仪。目的在于规范氧化锌避雷器阻性电流测试仪的校准。
- 第 6 部分：电力电缆超低频介质损耗测试仪。目的在于规范电力电缆超低频介质损耗测试仪的校准。
- 第 7 部分：综合保护测控装置 电测量。目的在于规范综合保护测控装置的校准。
- 第 8 部分：电力电容电感测试仪。目的在于规范电力电容电感测试仪的校准。
- 第 9 部分：电力变压器空、负载损耗测试仪。目的在于规范电力变压器空、负载损耗测试仪的校准。

高压测试仪器及设备校准规范

第9部分：电力变压器空、负载损耗测试仪

1 范围

本文件规定了电力变压器空、负载损耗测试仪（以下简称“测试仪”）的计量特性、校准项目和方法、校准结果的表达及复校时间间隔等内容。

本文件适用于基波频率为 50 Hz 测试仪的校准。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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/T 1094.1—2013 电力变压器 第1部分：总则

DL/T 1256—2013 变压器空、负载损耗测试仪通用技术条件

3 术语和定义

GB/T 1094.1—2013、DL/T 1256—2013 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

空载损耗 no-load loss

当额定频率的额定电压（分接电压）施加到一侧绕组的端子上，其他绕组开路时所吸取的有功功率。

[来源：GB/T 1094.1—2013，3.6.1，有修改]

3.2

负载损耗 load loss

在一对绕组中，当额定电流（分接电流）流经一侧绕组的线路端子，且另一侧绕组短路时在额定频率和参考温度下所吸取的有功功率。此时，其他绕组（如果有）应开路。

[来源：GB/T 1094.1—2013，3.6.3，有修改]

3.3

短路阻抗 short-circuit impedance

在额定频率和参考温度下，一对绕组中某一绕组端子间的等效串联阻抗。

[来源：DL/T 1256—2013，3.4，有修改]

4 概述

测试仪通过测量电流、电压、功率因数、频率等参量，计算显示出被试变压器的空载损耗、负载损耗、阻抗电压百分数等参数，测试仪工作原理示意图见图1。

测试仪一般由电压采集单元、电流采集单元、数模转换模块、控制单元、通信接口和显示器组成。

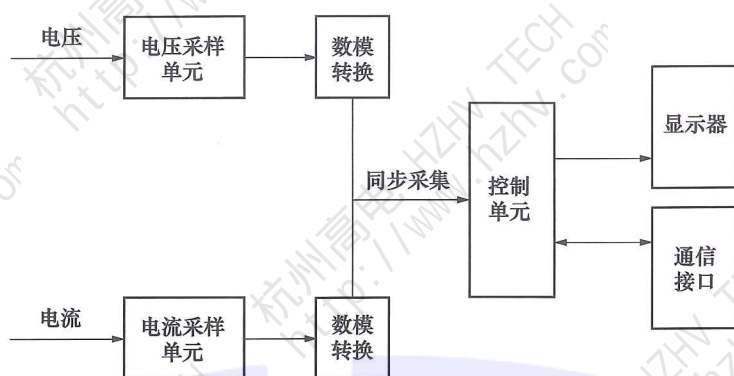


图1 测试仪工作原理示意图

5 计量特性

5.1 电压

测试仪电压测量应满足以下要求：

- 测量范围：测量下限不大于 10 V（相电压），测量上限不小于 250 V（相电压）。
- 最大允许误差：不超过 $\pm 0.2\%$ 。

5.2 电流

测试仪电流测量应满足以下要求：

- 测量范围：测量下限不大于 0.5 A，测量上限不小于 10 A。
- 最大允许误差：不超过 $\pm 0.2\%$ 。

5.3 频率

测试仪频率测量应满足以下要求：

- 测量范围：测量下限不大于 45 Hz，测量上限不小于 55 Hz。
- 最大允许误差：不超过 $\pm 0.2\%$ 。

5.4 空载损耗、负载损耗

测试仪空载损耗、负载损耗测量最大允许误差不应超过 $\pm 0.5\%$ 。

5.5 功率因数

测试仪功率因数测量应满足以下要求：

- 最低可测功率因数：不大于 0.1。
- 最大允许误差：不超过 $\pm 3\%$ 。

注：以上条款不作为合格性判断依据，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

测试仪的校准环境应满足以下要求：

- 环境温度：20 $^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

- 环境相对湿度： $\leq 80\%$ 。
- 交流供电电压： $220\text{ V} \pm 22\text{ V}$ 。
- 交流供电频率： $50\text{ Hz} \pm 0.2\text{ Hz}$ 。

6.2 测量标准及辅助设备

测量标准及辅助设备要求见表 1。

表 1 测量标准及辅助设备要求

设备名称	性能指标
变压器空、负载测试仪校准装置 (标准功率源)	最大输出电压不小于 250 V；最大输出电流不小于 10 A；频率调节范围能覆盖 45 Hz~55 Hz，功率因数在 0~1 内可调，能按一定比例同时施加 3、5、7 次电流谐波；功率源的输出稳定度 (2 min) 不应大于测试仪最大允许误差的 1/10；各参数的测量扩展不确定度应优于测试仪相应参数最大允许误差的 1/3
绝缘电阻表	准确度等级不低于 10 级，额定电压为 500 V
耐电压测试仪	准确度等级不低于 2 级，输出电压不小于 2 kV

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

测试仪校准项目按表 2 规定。

表 2 测试仪校准项目

序号	校准项目	校准方法
1	电压示值误差	见 7.3.1
2	电流示值误差	见 7.3.2
3	频率示值误差	见 7.3.3
4	空载损耗示值误差	见 7.3.4
5	负载损耗示值误差	见 7.3.5
6	功率因数示值误差	见 7.3.6

7.2 校准准备

7.2.1 外观检查

检查测试仪名称、型号、制造厂名、出厂编号、额定输入电压和频率、输出参数额定值、端钮标志等信息是否清晰完整；检查端钮、开关、按键和调节旋钮是否灵活无卡涩。

7.2.2 绝缘电阻与介电强度

对采用交流 220 V 供电的测试仪，应进行以下项目检查：

- a) 使用 500 V 绝缘电阻表测量电源输入端对机壳及地的绝缘电阻，测量结果不小于 20 MΩ；
- b) 使用耐电压测试仪对测试仪的电源输入端与机壳及地之间，施加 2 kV 工频电压，历时 1 min 无击穿或飞弧现象。

7.2.3 工作正常性检查

通电后开关、按键、调节旋钮、显示屏、测量仪表和各种状态指示灯（标志）应工作正常。

7.2.4 预热

在规定的环境条件下，按测试仪及标准功率源应预热 30 min 后开始校准。

7.3 校准方法

7.3.1 电压示值误差

测试仪若采用三表法原理测量，则应对三相电压进行校准。

测试仪若采用两表法原理测量，则应对三组线电压进行校准。

校准时，通过施加三相同相位电压检查测试仪线电压测量方法的正确性；通过施加三相对称电压进行示值误差校准。

对测试仪的电压示值误差进行校准。在测试仪测量范围内均匀选择不少于 5 个校准点，包括测试仪测量范围的上、下限及测量范围上限 20%、50%、80% 的点，按图 2 所示的标准源法电压示值误差校准原理示意图进行接线。分别读取标准源输出值 U_0 和测试仪示值 U_x ，按公式（1）计算电压示值误差，结果应满足 5.1 的要求。

$$\delta_U = \frac{U_x - U_0}{U_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

δ_U ——电压示值误差；

U_x ——测试仪示值，V；

U_0 ——标准源输出设定值，V。

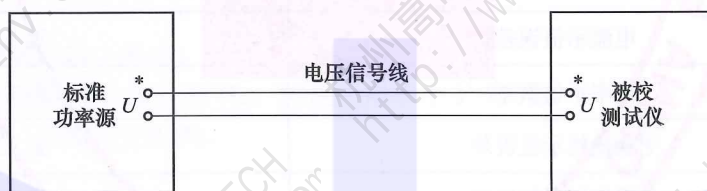


图 2 标准源法电压示值误差校准原理示意图

采用标准表法校准可按附录 A 进行。

7.3.2 电流示值误差

对测试仪的每相分别进行校准。在测试仪测量范围内均匀选择 5 个校准点，包括测试仪测量范围的上、下限及测量范围上限 20%、50%、80% 的点，按图 3 所示的标准源法电流示值误差校准原理示意图进行接线。施加电流信号中包含基波及 5% 基波幅值的 3 次谐波分量、20% 基波幅值的 5 次谐波分量、5% 基波幅值的 7 次谐波分量，分别读取标准源输出设定有效值 I_0 和测试仪示值 I_x ，按公式（2）计算电流示值误差，结果应满足 5.2 的要求。

$$\delta_I = \frac{I_x - I_0}{I_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

δ_I ——电流示值误差；

I_x ——测试仪的示值, A;
 I_0 ——标准源输出设定值, A。

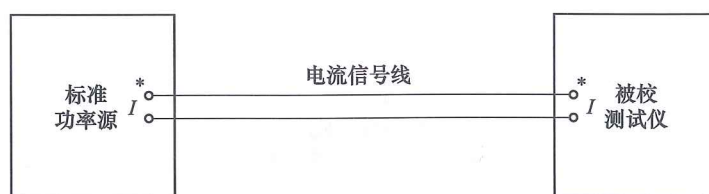


图3 标准源法电流示值误差校准原理示意图

采用标准表法校准可按附录 A 进行。

7.3.3 频率示值误差

在测试仪标称工作频率范围内选择不少于 1 个校准点 (包含 50 Hz), 按图 2 进行接线。分别读取标准源输出设定值 f_0 和测试仪示值 f_x , 按公式 (3) 计算频率示值误差, 结果应满足 5.3 的要求。

$$\delta_f = \frac{f_x - f_0}{f_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

δ_f ——频率示值误差;
 f_x ——测试仪的示值, Hz;
 f_0 ——标准源输出设定值, Hz。

采用标准表法校准可按附录 A 进行。

7.3.4 空载损耗示值误差

空载损耗示值误差校准点见表 3, 根据表 3 规则选择校准点, 按图 4 所示的标准源法空载损耗、负载损耗示值误差校准原理示意图进行接线。分别读取标准源输出设定值 W_0 和测试仪示值 W_x , 按公式 (4) 计算空载损耗示值误差, 结果应满足 5.4 的要求。

$$\delta_w = \frac{W_x - W_0}{W_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

δ_w ——空载损耗示值误差;
 W_x ——测试仪的示值, W;
 W_0 ——标准源输出设定值, W。

表 3 空载损耗示值误差校准点

条件	校准点		
	1	2	3
20% U_N [功率因数: 0.2L (感性)]	20% I_N	50% I_N	100% I_N
100% U_N [功率因数: 0.2L (感性)]	20% I_N	50% I_N	100% I_N
20% U_N [功率因数: 0.5L (感性)]	20% I_N	50% I_N	100% I_N
100% U_N [功率因数: 0.5L (感性)]	20% I_N	50% I_N	100% I_N
20% U_N [功率因数: 0.8L (感性)]	20% I_N	50% I_N	100% I_N

表 3（续）

条件	校准点		
	1	2	3
100% U_N [功率因数：0.8L（感性）]	20% I_N	50% I_N	100% I_N
注 1： U_N 为测试仪电压测量上限， I_N 为测试仪电流测量上限。 注 2：施加电压为纯基波，施加电流信号中包含基波及 5%基波幅值的 3 次谐波分量、20%基波幅值的 5 次谐波分量、5%基波幅值的 7 次谐波分量。			

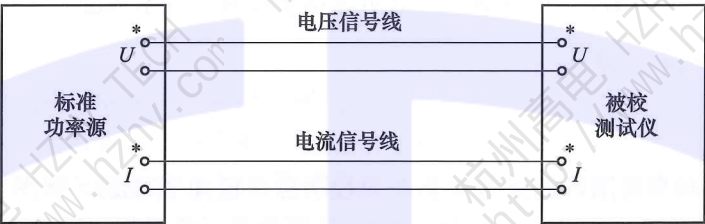


图 4 标准源法空载损耗、负载损耗示值误差校准原理示意图

采用标准表法校准可按附录 A 进行。

7.3.5 负载损耗示值误差

负载损耗示值误差校准点见表 4，根据表 4 选择校准点，按图 4 进行接线。分别读取标准源输出设定值 P_0 和测试仪示值 P_x ，按公式（5）计算负载损耗示值误差，结果应满足 5.4 的要求。

$$\delta_p = \frac{P_x - P_0}{P_0} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- δ_p ——负载损耗示值误差；
- P_x ——测试仪的示值，W；
- P_0 ——标准源输出设定值，W。

表 4 负载损耗示值误差校准点

条件	校准点		
	1	2	3
20% I_N [功率因数：0.1L（感性）]	20% U_N	50% U_N	100% U_N
100% I_N [功率因数：0.1L（感性）]	20% U_N	50% U_N	100% U_N
20% I_N [功率因数：0.2L（感性）]	20% U_N	50% U_N	100% U_N
100% I_N [功率因数：0.2L（感性）]	20% U_N	50% U_N	100% U_N
20% I_N [功率因数：0.5L（感性）]	20% U_N	50% U_N	100% U_N
100% I_N [功率因数：0.5L（感性）]	20% U_N	50% U_N	100% U_N
注 1： U_N 为测试仪电压测量上限， I_N 为测试仪电流测量上限。 注 2：施加电流、电压均为基波。 注 3：若用户需要或标准器可溯源的情况下，则可酌情采用功率因数低于 0.1L 的校准点代替功率因数为 0.1L 的校准点，进行负载损耗示值误差校准。			

采用标准表法校准可按附录 A 进行。

7.3.6 功率因数示值误差

选择功率因数为 0.1L（感性）、0.2L（感性）、0.5L（感性）、0.8L（感性）的校准点，按图 4 进行接线。分别读取标准源输出设定值 $\cos \varphi_0$ 和测试仪示值 $\cos \varphi_x$ ，按公式（6）计算功率因数示值误差，结果应满足 5.5 的要求。

$$\delta_{\cos \varphi} = \frac{\cos \varphi_x - \cos \varphi_0}{\cos \varphi_0} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

$\delta_{\cos \varphi}$ ——功率因数示值误差；

$\cos \varphi_x$ ——测试仪的示值；

$\cos \varphi_0$ ——标准源输出设定值。

8 校准结果表达

8.1 校准数据处理

校准数据有效位数应与扩展不确定度位数一致。

8.2 校准证书

校准结果应在校准证书（报告）上反应，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- 标题，如“校准证书”；
- 实验室名称和地址；
- 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- 客户的名称和地址；
- 被校对象的描述和明确标识；
- 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性有关时，应说明被校对象的接收日期；
- 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- 校准环境的描述；
- 校准结果及其测量不确定度的说明；
- 对校准规范的偏离的说明；
- 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

电流测量不确定度示例见附录 B，原始记录内页格式见附录 C，校准证书（报告）内页格式见附录 D。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。

注：由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A
(规范性)
采用标准表法校准

A.1 概述

根据校准标准器的工作原理，需采用标准表法进行校准的，可按照本附录的条款进行。

A.2 环境条件

校准所需要的环境条件遵照 6.2 的要求。

A.3 校准所需要的标准器

测量标准及辅助设备要求见表 A.1。

表 A.1 测量标准及辅助设备要求

设备名称	性能指标
标准功率表	测量范围能覆盖测试仪的量程，各参数的测量扩展不确定度应优于测试仪相应参数最大允许误差的 1/3
功率源	最大输出电压不小于 250 V；最大输出电流不小于 10 A；频率调节范围能覆盖 45 Hz~55 Hz，功率因数在 0~1 内可调，能按一定比例同时施加 3、5、7 次电流谐波；功率源的输出稳定度（2 min）不应大于测试仪最大允许误差的 1/10
绝缘电阻表	准确度等级不低于 10 级，额定电压为 500 V
耐电压测试仪	准确度等级不低于 2 级，输出电压不小于 2 kV

A.4 校准项目

校准项目符合 7.1 的要求。

A.5 校准前的准备

校准前的准备符合 7.2 的要求。

A.6 校准方法

A.6.1 电压示值误差

测试仪若采用三表法原理测量，则应对三相电压进行校准。

测试仪若采用两表法原理测量，则应对三组线电压进行校准。校准时，通过施加三相相同相位电压检查测试仪线电压测量方法的正确性；通过施加三相对称电压进行示值误差校准。

对测试仪的电压示值误差进行校准。在测试仪测量范围内均匀选择不少于 5 个校准点（包含测试仪量程上下限），按图 A.1 所示的标准表法电压示值误差校准原理示意图进行接线。分别读取标准表示值 U'_0 和测试仪示值 U_x ，用 U'_0 代替 U_0 ，按公式（1）计算电压示值误差，结果应满足 5.1 的要求。

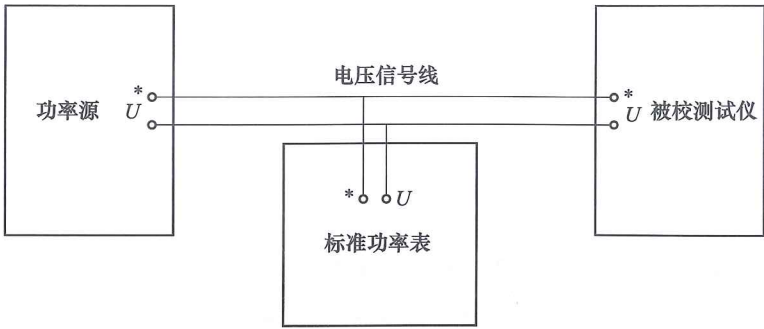


图 A.1 标准表法电压示值误差校准原理示意图

A.6.2 电流示值误差

对测试仪的每相分别进行校准。在测试仪测量范围内均匀选择 5 个校准点（包含测试仪量程上下限），按图 A.2 所示的标准表法电流示值误差校准原理示意图进行接线。施加电流信号中包含基波及 5%基波幅值的 3 次谐波分量、20%基波幅值的 5 次谐波分量、5%基波幅值的 7 次谐波分量，分别读取标准表有效值示值 I'_0 和测试仪示值 I_x ，用 I'_0 代替 I_0 ，按公式（2）计算电流示值误差，结果应满足 5.2 的要求。

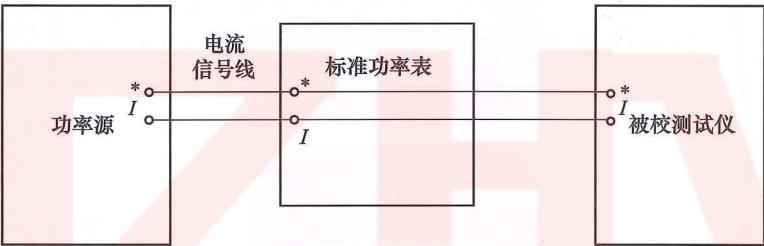


图 A.2 标准表法电流示值误差校准原理示意图

A.6.3 频率示值误差

在测试仪标称工作频率范围内选择不少于 1 个校准点，按图 A.1 进行接线。分别读取标准表示值 f'_0 和测试仪示值 f_x ，用 f'_0 代替 f_0 ，按公式（3）计算频率示值误差，结果应满足 5.3 的要求。

A.6.4 空载损耗示值误差

根据表 3 规则选择校准点，按 A.3 所示的标准表法空载损耗、负载损耗示值误差校准原理示意图进行接线。分别读取标准表的示值 W'_0 ，和测试仪示值 W_x ，用 W'_0 代替 W_0 ，按公式（4）计算空载损耗示值误差，结果应满足 5.4 的要求。

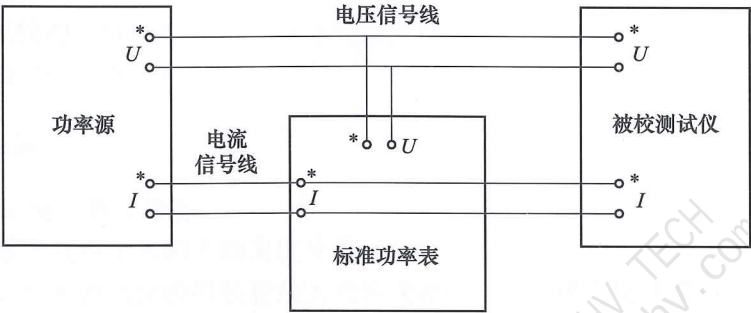


图 A.3 标准表法空载损耗、负载损耗示值误差校准原理示意图

A.6.5 负载损耗示值误差

根据表 4 选择校准点, 按图 A.3 进行接线。分别读取标准表示值 P'_0 和测试仪示值 P_x , 用 P'_0 代替 P_0 , 按公式 (5) 计算负载损耗示值误差, 结果应满足 5.4 的要求。

A.6.6 功率因数示值误差

选择功率因数为 0.1 L (感性)、0.2 L (感性)、0.5 L (感性)、0.8 L (感性) 的校准点, 按图 A.3 进行接线。分别读取标准表示值 $\cos \varphi'_0$ 和测试仪示值 $\cos \varphi_x$, 用 $\cos \varphi'_0$ 代替 $\cos \varphi_0$, 按公式 (6) 计算功率因数示值误差, 结果应满足 5.5 的要求。

附录 B

(资料性)

电流测量不确定度示例

B.1 概述

B.1.1 评定依据

根据 JJF 1059.1 规定的方法, 对测试仪在校准点 1.000 0 A 处电流示值误差进行不确定度评定。

B.1.2 环境条件

环境温度为 22.5 °C, 相对湿度为 47%。

B.1.3 主要计量标准

变压器空、负载测试仪校准装置(标准功率源): 电压输出范围为 0 V~500 V, 电流输出范围为 0 A~100 A, 频率测量范围为 45 Hz~65 Hz, 电压、电流、频率测量准确度等级为 0.01 级, 功率测量准确度等级为 0.02 级, 功率因数最大允许误差为 ± 0.001 。

B.1.4 校准方法

校准方法按照 7.3.2 进行。

B.1.5 校准对象

CS-3500 型变压器空、负载特性测试仪: 电压测量范围为 0 V~850 V, 电流测量范围为 0 A~80 A, 频率测量范围为 35 Hz~65 Hz, 电压、电流测量准确度等级为 0.2 级, 功率测量(功率因数大于 0.1 时)准确度等级为 0.5 级。

B.2 测量模型

测试仪电流示值误差 Δ_I 按公式 B.1 计算:

$$\Delta_I = I_x - I_0 \quad \text{..... (B.1)}$$

式中:

Δ_I ——电流示值误差, A;

I_x ——被检测测试仪的示值, A;

I_0 ——标准源输出设定值, A。

B.3 标准不确定度来源

测量结果的不确定度主要分量有:

- a) 由测试仪测量重复性引入的不确定度分量 $u(I_{x1})$;
- b) 由变压器空、负载测试仪校准装置最大允许误差引入的不确定度分量 $u(I_{s1})$;
- c) 由测试仪测量分辨力引入的不确定度分量 $u(I_{x2})$ 。

B.4 标准不确定度分量的评定

B.4.1 标准不确定度分量 $u(I_{x1})$ 的评定

变压器空、负载测试仪校准装置输出电流值设置为 1.000 0 A 时, 进行 10 次重复测量, 重复性测量数据见表 B.1。

表 B.1 重复性测量数据

序号	测量结果 A	序号	测量结果 A
1	0.999 1	6	0.999 2
2	0.999 1	7	0.999 2
3	0.999 1	8	0.999 2
4	0.999 2	9	0.999 2
5	0.999 1	10	0.999 2

电流测量结果的算术平均值 $\bar{I}_x$ 为: $\bar{I}_x = \frac{1}{10} (0.999\ 1 + 0.999\ 1 + 0.999\ 1 + 0.999\ 2 + 0.999\ 1 + 0.999\ 2 + 0.999\ 2 + 0.999\ 2 + 0.999\ 2 + 0.999\ 2) \text{ A} = 0.999\ 2 \text{ A}$ 。

其单次测量的实验标准差 $s(I_x)$ 为: $s(I_x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_{xi} - \bar{I}_x)^2} = 5.16 \times 10^{-5} \text{ A}$ 。

测试仪为数显式, 实际校准时以单次测量结果为最终测量结果, 故测量重复性引入的不确定度: $u(I_{x1}) = s(I_x) = 5.16 \times 10^{-5} \text{ A}$ 。

B.4.2 标准不确定度分量 $u(I_{s1})$ 的评定

由校准证书给出的变压器空、负载测试仪校准装置最大允许误差为 $\pm 0.01\%$, 按均匀分布考虑, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u(I_{s1}) = 0.01\% \times 1.000 \div \sqrt{3} \text{ A} = 5.77 \times 10^{-5} \text{ A}$$

B.4.3 标准不确定度分量 $u(I_{x2})$ 的评定

测试仪分辨力为 0.000 1 A, 服从均匀分布:

$$u(I_{x2}) = 0.000\ 1 \div 2 \div \sqrt{3} \text{ A} = 2.89 \times 10^{-5} \text{ A}$$

分辨力引入的不确定度分量小于测试仪测量重复性引入的不确定度分量, 因此忽略分辨力引入的不确定度分量。

B.5 合成标准不确定度

经过分析不确定度的来源, 各分量互为独立量, 则电流在此校准点的合成标准不确定度 u_c 为:

$$u_c = \sqrt{u^2(I_{x1}) + u^2(I_{s1})} = 7.7 \times 10^{-5} \text{ A}$$

B.6 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 则

$$U = k \times u_c = 2 \times 7.7 \times 10^{-5} \text{ A} = 1.5 \times 10^{-4} \text{ A}$$

B.7 测量不确定度的报告与表示

该变压器空、负载特性测试仪在 1.000 0 A 校准点，测量结果的最佳估计值为 $I_x = 0.999\ 2\ \text{A}$ ，其扩展不确定度为：

$$U = 1.5 \times 10^{-4}\ \text{A} \quad (k=2)$$

同样方法可得出测试仪其他校准点的不确定度。

电压、功率、频率的不确定度可参照此方法评定。



附录 C
(资料性)

校准证书原始记录内页格式

校准证书原始记录内页格式见表 C.1。

表 C.1 校准证书原始记录内页格式

原始记录号 ××××××-××××								第 1 页 共×页
委托单位			地址					
仪器名称			型号/规格					
生产厂商			出厂编号					
准确度等级/不确定度/最大允许误差			唯一性标识					
校准时使用的标准器								
名称	型号	测量范围	准确度等级/不确定度/最大允许误差	出厂编号	校准机构名称	证书编号	证书有效期至	
校准依据								
校准地点				校准日期				
温度 ℃				相对湿度 %				
校准结论及说明： 试品测量结果扩展不确定度：								
检定：记录：核验：								

表 C.1 (续)

原始记录号 ××××××-××××

第 2 页 共×页

(校准项目)

一、外观检查

二、工作正常性检查

三、绝缘电阻与介电强度

测量测试仪电源输入端对机壳及地的绝缘电阻，施加电压为_____V，实测绝缘电阻为_____；
对测试仪电源输入端与机壳及地之间，施加工频电压为_____kV，历时时间为_____min，试验现象为_____。

四、电压示值误差

单位：V

标准值 (纯基波)	显示值 (A 相)	显示值 (B 相)	显示值 (C 相)

五、电流示值误差

单位：A

标准值 ($I_0+5\%I_3+20\%I_5+5\%I_7$)	显示值 (A 相)	显示值 (B 相)	显示值 (C 相)

备注：施加电流信号中包含基波及 5%基波幅值的 3 次谐波分量、20%基波幅值的 5 次谐波分量、5%基波幅值的 7 次谐波分量。

六、频率示值误差

单位：Hz

标准值	显示值

表 C.1 (续)

原始记录号 ××××××-××××

第 3 页 共×页

(校准项目)

七、空载损耗示值误差

施加电压值	施加电流值			显示值 (三相之和) (W)	功率 因数
	20% I_N (____A)	50% I_N (____A)	100% I_N (____A)		
	显示值 (A 相) (W)	显示值 (B 相) (W)	显示值 (C 相) (W)		
20% U_N (____V)					0.2
100% U_N (____V)					0.2
20% U_N (____V)					0.5
100% U_N (____V)					0.5
20% U_N (____V)					0.8
100% U_N (____V)					0.8
备注	施加电压为纯基波, 施加电流信号中包含基波及 5%基波幅值的 3 次谐波分量、20%基波幅值的 5 次谐波分量、5%基波幅值的 7 次谐波分量。				

八、负载损耗示值误差

施加电流值	施加电压值			显示值 (三相之和) (W)	功率 因数
	20% U_N (____V)	50% U_N (____V)	100% U_N (____V)		
	显示值 (A 相) (W)	显示值 (B 相) (W)	显示值 (C 相) (W)		
20% I_N (____A)					0.1
100% I_N (____A)					0.1
20% I_N (____A)					0.2
100% I_N (____A)					0.2
20% I_N (____A)					0.5
100% I_N (____A)					0.5
备注	施加电压、电流均为纯基波。				

九、功率因数示值误差

标准值	显示值

校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF 1059.1 的要求。

敬告:

1. 被校准仪器修理后, 应立即进行校准。
2. 在使用过程中, 如对被校准仪器的技术指标产生怀疑, 请重新校准。

附录 D

(资料性)

校准证书(报告)内页格式

校准证书(报告)内页格式见表 D.1。

表 D.1 校准证书(报告)内页格式

证书编号 ××××××-××××					
<校准机构授权说明>					
校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF 1059.1 的要求。					
校准环境条件及地点:					
温度 ℃			地 点		
相对湿度 %			其 他		
校准所依据的技术文件(代号、名称):					
校准所使用的主要测量标准:					
名称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	校准机构名称	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

表 D.1 (续)

证书编号 ××××××-××××

校 准 结 果

(校准项目及校准结果)

一、外观检查

二、工作正常性检查

三、绝缘电阻与介电强度

四、电压示值误差

单位: V

标准值	显示值 (A 相)	显示值 (B 相)	显示值 (C 相)

五、电流示值误差

单位: A

标准值 ($I_0+5\%I_3+20\%I_5+5\%I_7$)	显示值 (A 相)	显示值 (B 相)	显示值 (C 相)

六、频率示值误差

单位: Hz

标准值	显示值 (A 相)	显示值 (B 相)	显示值 (C 相)

表 D.1 (续)

证书编号 ××××××-××××

校 准 结 果

(校准项目及校准结果)

七、空载损耗示值误差

单位: W

标准值	显示值 (A 相)	显示值 (B 相)	显示值 (C 相)	显示值 (三相之和)	功率因数

八、负载损耗示值误差:

单位: W

标准值	显示值 (A 相)	显示值 (B 相)	显示值 (C 相)	显示值 (三相之和)	功率因数

九、功率因数示值误差

标准值	显示值

声明:

1. 仅对加盖“×××××校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。

校准员:

核验员:

第×页 共×页

参 考 文 献

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
高压测试仪器及设备校准规范
第 9 部分：电力变压器空、负载损耗测试仪
DL/T 1694.9—2021

*

中国电力出版社出版、印刷、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

*

2022 年 5 月第一版 2022 年 5 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 1.5 印张 49 千字

*

统一书号 155198·4143 定价 30.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电力出版社官方微信

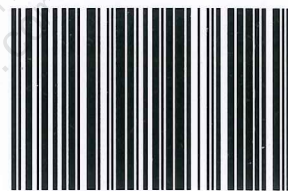


中国电力百科网网址



电力标准信息微信

为您提供最及时、最准确、最权威的电力标准信息



155198.4143