



中华人民共和国工业和信息化部
机械计量技术规范

JJFZ（机械）009—2022

变压器损耗测量系统校准规范

（报批稿）

Calibration specification of transformer loss measurement system

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

变压器损耗测量系统校准 规范

Calibration Specification of Transformer

Loss Measurement System

JJFZ（机械）009-2022

归口单位：中华人民共和国工业和信息化部

起草单位：苏州电器科学研究院股份有限公司

山东双益电气有限责任公司

机械工业第二十六计量测试中心站（苏州）

本规范条文由全国机械汽车专业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

胡 醇（苏州电器科学研究院股份有限公司）

于冠学（山东双益电气有限责任公司）

陈 立（机械工业第二十六计量测试中心站（苏州））

参加起草人：

魏映红（苏州电器科学研究院股份有限公司）

姜勇军（山东双益电气有限责任公司）

胡观伟（山东双益电气有限责任公司）

胡吉华（机械工业第二十六计量测试中心站（苏州））

戚吉莉（机械工业第二十六计量测试中心站（苏州））

引 言

本规范依据国家计量技术规范 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》，JJF1001-2011《通用计量术语及定义》，JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制而成。

所有仪表和计量装置的误差都必须经过实际的测量，而以其他测量中计算出来的引用电压、电流和功率因数组合的误差，不能作为评价装置基本误差的依据。过去传统的计量方法是对变压器损耗测试系统的电压互感器、电流互感器、功率分析仪分别校准，但未对该系统整体的准确度进行校准。现编制变压器损耗测试系统校准规范，可以同时校准变压器损耗测试系统的电压、电流和功率。因此编制变压器损耗测量系统校准规范具有重要意义。

目 录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 额定值	1
3.2 空载损耗	1
3.3 负载损耗	1
3.4 示值误差	1
3.5 电压采集单元	2
3.6 电流采集单元	2
3.7 测量单元	2
4 概述	2
5 计量特性	2
5.1 有功功率示值误差	2
5.2 电压有效值的示值误差	3
5.3 电流有效值的示值误差	3
6 校准条件	3
6.1 环境条件	3
6.2 测量标准及其他设备	3
7 校准项目和校准方法	3
7.1 校准项目	3
7.2 校准方法	4
8 校准结果表达	8
9 复校时间间隔	8
附录 A	9
附录 B	15
附录 C	17

变压器损耗测量系统校准规范

1、范围

本规范适用于额定频率为(50/60)Hz, 变压器高压侧额定电压在(10~1000)kV 的电力变压器损耗测量系统的校准, 其他类型的变压器损耗测量系统可以参考执行。

2、引用文件

本规范引用了下列文件:

JJG 313 《测量用电流互感器检定规程》

JJG 314 《测量用电压互感器检定规程》

JJG 780 《交流数字功率表检定规程》

GB/T 1094.1 《电力变压器 第1部分: 总则》

GB/T 6451 《油浸式电力变压器技术参数和要求》

GB/T 10228 《干式电力变压器技术参数和要求》

JB/T 501-2021 《电力变压器试验导则》

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

3、术语和计量单位

以下术语适用于本规范。

3.1 额定值 rating

对某些参数指定的值, 用于限定变压器在本部分规定条件下的运行, 并作为试验的基准和制造方的保证值。

3.2 空载损耗 no-load loss

当额定频率下的额定电压(分接电压)施加到一个绕组的端子上, 其他绕组开路时所吸取的有功功率。

3.3 负载损耗 load loss

在一对绕组中, 当额定电流(分接电流)流经一个绕组的线路端子, 且另一个绕组短路时在额定频率及参考温度下所吸取的有功功率。其他绕组(如果有)开路。

3.4 示值误差 error of indication

测量系统示值与对应输入量的参考值(标准值)之差。

3.5 电压采集单元 unit of voltage acquisition

组成部分为电压互感器或者分压器，将交流高压成比例转化成可供测量系统测量单元测量的低电压，同时起到电气隔离作用的变压设备，其比差和角差必须在允许范围内。

3.6 电流采集单元 unit of current acquisition

组成部分为电流互感器，将交流大电流成比例转化成可供测量系统测量单元测量的小电流，同时起到电气隔离作用的变流设备，其比差和角差必须在允许范围内。

3.7 测量单元 unit of measurement

组成部分为功率测量仪表，将电压采集单元和电流采集单元输入的电压、电流信号进行测量计算，其测量数据作为测量系统的有功功率、电压和电流测量示值。

4、概述

变压器损耗测量系统（以下简称测量系统）是用于测量变压器空载损耗、负载损耗的装置，是由试验电源输出单元、电压电流扩展量程单元、测量仪表、电气控制及数据处理单元、档位调节单元和连接电缆组成，示意图如图1所示。根据试验需求调节试验电源输出，通过电气控制对测量系统进行档位调节控制，并使电压、电流扩展量程单元输出相应比例电压或电流至测量仪表，再对测量仪表采集的数据进行相应的数据分析，可得到变压器空负载损耗值。

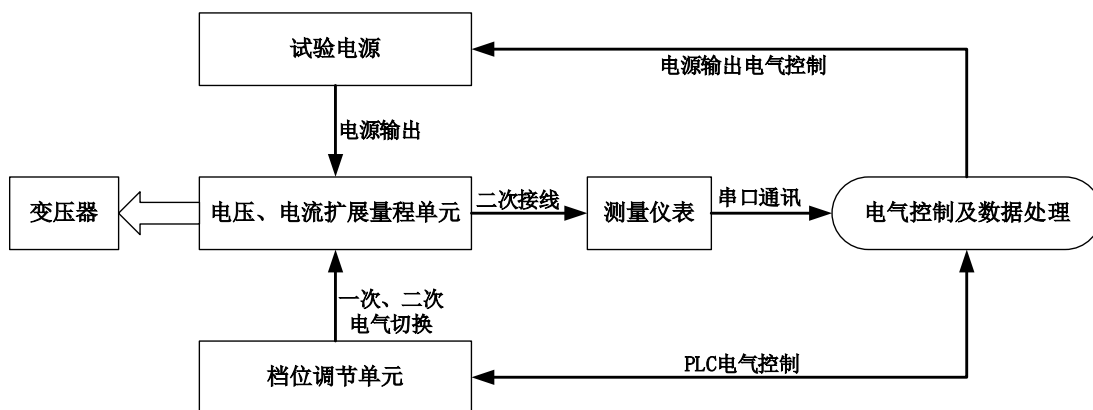


图1 测量系统示意图

5、计量特性

5.1 有功功率示值误差

测量系统有功功率示值的最大允许误差优于 $\pm 0.5\%$ ($\cos\varphi=1$)，在测量系统最低功率因数下示值的最大允许误差优于 $\pm 3\%$ 。

5.2 电压有效值的示值误差

测量系统电压有效值示值的最大允许误差优于 $\pm 0.2\%$ 。

5.3 电流有效值的示值误差

测量系统电流有效值的示值的最大允许误差优于 $\pm 0.2\%$ 。

6、校准条件

6.1 环境条件

环境温度：(15~35)℃

相对湿度： $\leq 80\%$

供电电源：380V \pm 19V，频率：50Hz \pm 1Hz，周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动，并具有良好的接地。

6.2 测量标准及其他辅助设备

6.2.1 测量标准

标准装置由标准电流互感器、标准电压互感器和功率分析仪组成，标准装置的测量范围应覆盖被校的测量范围；测量标准装置对应参数的扩展不确定度（ $k=2$ ）应不大于被校测量系统各参数最大允许误差绝对值的 1/3。

6.2.2 其他辅助设备

6.2.2.1 功率源

输出电压稳定度应优于 0.02%/min；输出电流稳定度应优于 0.02%/min；输出功率（ $\cos\varphi=1$ ）稳定度应优于 0.02%/min。

6.2.2.2 升压器

升压器输入电压应与功率源输出电压相匹配，升压器输出电压应满足校准电压需求。

6.2.2.3 升流器

升流器输入电流应与功率源输出电流相匹配，升流器输出电流应满足校准电流需求。

7、校准项目和校准方法

7.1 校准项目

装置的校准项目见表 1。

表 1 变压器损耗测量系统校准项目

序号	校准项目	计量特性	校准方法
1	有功功率示值误差	5.1	7.2.2
2	电压有效值的示值误差	5.2	7.2.3
3	电流有效值的示值误差	5.3	7.2.4

7.2 校准方法

7.2.1 一般性能检查

7.2.1.1 外观检查

测量系统所有部件外观应符合以下要求：

- a) 各部件外观完好，无明显的变形和损伤，无放电痕迹。
- b) 充油设备无渗漏油，充气设备气压在正常的气压范围内，浇注式设备无裂痕。
- c) 所有电气设备的金属外壳有接地端子，有易见、清晰、不易脱落的接地标志。
- d) 电压、电流扩展量程单元端子标志正确、齐全，一次、二次接线良好，二次接线必须有可靠接地。
- e) 测量系统所有连接牢固。
- f) 测量系统铭牌标示清晰，至少应包括产品名称、产品型号、产品编号、制造厂名称信息。

7.2.1.2 通电检查

- a) 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。
- b) 被测量电源输入端和外壳及地之间的绝缘电阻应满足绝缘要求。

7.2.1.3 档位调节功能检查

电压、电流扩展量程单元一次、二次的档位调节正常，调节功能应调节灵活到位，指示正确。

7.2.1.4 校准注意事项及准备工作

- a) 测量系统校准过程中，应保持测量系统二次接线的原有状态。
- b) 校准采用虚负荷法施加电压、电流，通过调节功率源输出功率因数进行校准，电压、电流测量设备应保持一定的电气安全距离，必须撤除测量系统电压一次接

线。根据情况可撤除电流扩展量程单元部分一次引线。

7.2.2 有功功率示值误差

7.2.2.1 校准点的选取

7.2.2.1.1 变压器损耗测量系统有功功率校准点的选择，应与损耗测量系统进行变压器空负载损耗测量电压、电流和功率因数能达到的范围相对应，对应范围可参考表2。

表 2 测量系统校准范围参考表

序号	变压器电压等级(kV)	校准电压范围(kV)	校准电流范围 (A)	校准功率因数点
1	10	$(0.2 \sim 0.8) / \sqrt{3}$	1~400	1、0.5L、0.1L
2	35(66)	$(1.5 \sim 10) / \sqrt{3}$	2~600	1、0.1L、0.05L
3	110	$(5 \sim 40) / \sqrt{3}$	2~2000	1、0.1L、0.05L、0.02L
4	220	$(5 \sim 60) / \sqrt{3}$	2~2000	1、0.1L、0.05L、0.01L
5	>220	$(10 \sim 200) / \sqrt{3}$	5~2000	1、0.1L、0.05L、0.01L
注：对于 10kV 非晶合金变压器测量系统最低电流校准到 0.2A。				

7.2.2.1.2 对于负载损耗测量可能出现的以下情况，可以不予校准。

a) 用于变压器一次电压 10kV 的测量系统，当电流在 5A 以下，功率因数小于 0.5L 时；

b) 用于变压器一次电压 35kV 的测量系统，当电流在 10A 以下，功率因数小于 0.1L 时；

c) 用于变压器一次电压 110kV 的测量系统，当电流在 30A 以下，功率因数小于 0.1L 时；

d) 用于变压器一次电压 220kV 的测量系统，当电流在 30A 以下，功率因数小于 0.1L 时；

e) 用于变压器一次电压高于 220kV 的测量系统，当电流在 50A 以下，功率因数小于 0.1L 时。

7.2.2.1.3 一般情况下，电压、电流组合依据电压、电流扩展量程单元电气切换档位进行组合，用一个固定的电压档位与电流扩展量程单元每一档量程的 50%、100% 对应功率因数的每一个点进行校准，固定电压档位应该在符合表 2 的范围内能够达到最低功率因数的电压档位中选择。用一个固定的电流档位与电压扩展量程单元每一档量程的 50%、100% 对应功率因数的每一个点进行校准，固定电流档位应该在符合表 2 的范围

内能够达到最低功率因数的电流档位中选择。

7.2.2.1.4 有功功率误差校准点，也可根据用户要求选择。

7.2.2.2 接线方式

测量系统有功功率校准，接线方式如图 2 所示。将升压器、校准装置电压扩展量程单元、测量系统电压扩展量程单元一次并联；将升流器、标准装置电流扩展量程单元、测量系统电流扩展量程单元一次串联；控制功率源输出，并通过标准测量仪表获取测量数据。

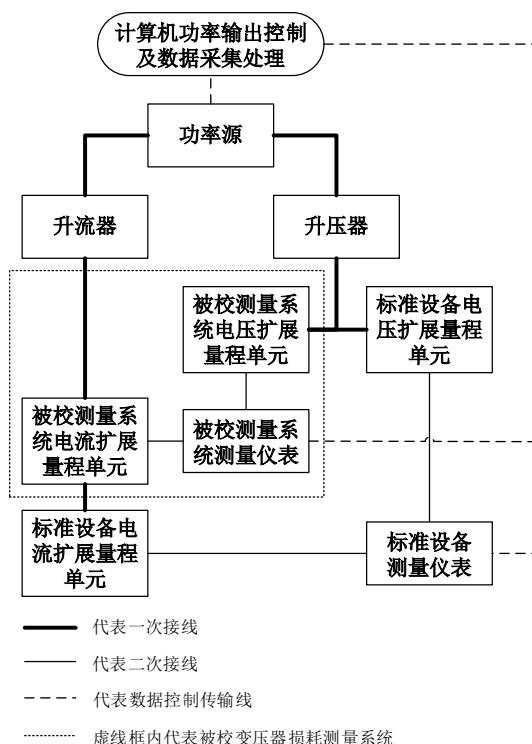


图 2 标准表法接线线路

7.2.2.3 误差计算

同步采集并比较标准装置功率示值和被校测量系统功率示值，按式（1）计算被校测量系统功率的相对示值误差：

$$\gamma_w = \frac{W_t - W_r}{W_r} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

γ_w ----被校功率示值的相对误差；

W_t ----被校功率示值，单位为 W；

W_r ----标准功率示值，单位为 W。

7.2.3 电压有效值的示值误差

7.2.3.1 校准点的选取

电压校准点选择应根据电压扩展量程的档位来选择。如果全量程不换档的,应在量程的 10%到 100%均匀选取不少于 5 个点;如果进行换档切换的,根据档位分布情况进行选择,选择每个档位量程 50%和 100%两点。一般情况下,测量系统电压校准可以与 $\cos\varphi=1$ 时的有功功率校准同时进行。

电压校准点也可根据用户的需求选择。

7.2.3.2 接线方式

交流电压校准接线图按照图 2 连接方式。

7.2.3.3 误差计算

同步采集并比较标准装置电压示值和被校测量系统电压示值,按式(2)计算被校测量系统电压的相对示值误差:

$$\gamma_U = \frac{U_t - U_r}{U_r} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中: γ_U ——被校电压示值的相对误差;

U_t ——被校电压示值,单位为 kV;

U_r ——标准电压示值,单位为 kV。

7.2.4 电流示值误差

7.2.4.1 校准点的选取

电流校准点选择应根据电流扩展量程单元,如果全量程不换档的,应在量程的 10%到 100%均匀选取不少于 5 个点;如果进行换挡切换的,根据档位分布情况进行选择,选择每个档位量程 50%和 100%两点。一般情况下,测量系统电流校准可以与 $\cos\varphi=1$ 时的有功功率校准同时进行。

电流校准点也可根据用户的要求选择。

7.2.4.2 接线方式

交流电流校准接线图按照图 2 连接方式。

7.2.4.3 误差计算

同步采集并比较标准装置电流示值与被校测量系统电流示值,按式(3)计算被校测量系统电流的相对示值误差:

$$\gamma_I = \frac{I_t - I_r}{I_r} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中： γ_I ——被校电流示值的相对误差；

I_t ——被校电流示值，单位为 A；

I_r ——标准电流示值，单位为 A。

8、校准结果表达

校准结果应在校准证书（报告）上反映，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

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

9、复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年，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

标准表法校准

测量结果不确定度分析实例

A.1 概述

1.1 环境条件：温度(15~35)℃、相对湿度≤80%。

1.2 测量标准：变压器损耗测量系统校准装置所使用标准器：0.05 级功率分析仪；0.005 级电流互感器；0.01 级电压互感器。

1.3 被测对象：用于电压等级 35kV 变压器的变压器损耗测量系统。

1.4 测量参数（项目）与简明测量方法：采用标准功率源输出电流、电压，调节功率因数，经升流器升流和升压器升压；标准功率分析仪通过互感器扩展量程，进行电流、电压、功率测量。以乘以倍率之后的电流、电压及有功功率值为测量实际值，以被校变压器损耗测量系统读数为被校值，比较被校值与实际值之差即为示值误差。

以电流互感器 50A/5A 档位（倍率 10）；电压互感器(6/√3)kV/(0.1/√3)kV 档位（倍率 60）；功率因数 $\cos\varphi=1.0$ 的电流有效值、电压有效值、交流功率测量结果为例。

A.2 测量模型

电流有效值示值误差测量模型： $\Delta I = I_x - I_n$

式中： ΔI --- 电流有效值示值误差；

I_x ---- 被校表电流有效值乘倍率之后示值；

I_n ---- 标准表电流有效值乘倍率之后示值。

电压有效值示值误差测量模型： $\Delta U = U_x - U_n$

式中： ΔU --- 电压有效值示值误差；

U_x ---- 被校表电压有效值乘倍率之后示值；

U_n ---- 标准表电压有效值乘倍率之后示值。

有功功率示值误差测量模型： $\Delta W = W_x - W_n$

式中： ΔW ---- 交流功率示值误差；

W_x ---- 被校表交流功率乘倍率之后示值；

W_n ---- 标准表交流功率乘倍率之后示值。

A.3 电流有效值的标准不确定度评定

A.3.1 输入量 I_x 的标准不确定度 $u(I_x)$ 的评定

标准不确定度 $u(I_x)$ 主要是交流数字电流表及电流互感器比值的测量重复性引入的, 可通过连续测量得到测量列, 采用 A 类方法进行评定。标准功率源的调节细度, 数据采集软件所引起的不确定度已包含在重复性条件下所得测量列的分散性中, 故不另做分析。

电流有效值示值误差连续测量 10 次, 得到测量列 (每次间隔至少一分钟):

测量次数	1	2	3	4	5
测量结果 (A)	-0.0007	-0.0023	-0.0038	-0.0024	-0.0029
测量次数	6	7	8	9	10
测量结果 (A)	-0.0041	-0.0033	-0.0037	-0.0022	-0.0043

$$\text{单次实验标准差: } s = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} \approx 0.0011 \text{ A};$$

$$\text{则 } u(I_x) = 0.0011 \text{ A}。$$

A.3.2 输入量 I_n 的标准不确定度 $u(I_n)$ 的评定

由电流互感器比值测量和功率分析仪测量误差引入的标准不确定度, 采用 B 类方法进行评定 (大小用测量误差限值表示, 二次额定电流 I_b 为 5A, 电流互感器额定变比 K_I 为 10)。

A.3.2.1 标准电流互感器误差引入的不确定度

0.005 级电流互感器, 比值差最大允许误差为 $\varepsilon = \pm 50 \times 10^{-6}$, 区间半宽度为 50×10^{-6} , 在此区间内可认为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, $u_{FI} = 0.005\% / \sqrt{3} \times 10 \times 5 \text{ A} \approx 0.0015 \text{ A}$ 。

A.3.2.2 标准功率分析仪引入的不确定度

0.05 级功率分析仪, 最大允许误差为 $\varepsilon = \pm 0.05\%$, 区间半宽度为 $a = 0.05\%$, 在此区间内可认为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, $u_{KI} = 0.05\% / \sqrt{3} \times 10 \times 5 \text{ A} \approx 0.0144 \text{ A}$ 。

$$\text{标准不确定度 } u(I_n) = \sqrt{u_{FI}^2 + u_{KI}^2} \approx 0.0145 \text{ A}$$

A.4 电压有效值输入量的标准不确定度评定

A.4.1 输入量 U_x 的标准不确定度 $u(U_x)$ 的评定

标准不确定度 $u(U_x)$ 主要是交流数字电压表及电压互感器比值的测量重复性引入的, 可通过连续测量得到测量列, 采用 A 类方法进行评定。标准功率源的调节细度, 数据采集软件所引起的不确定度已包含在重复性条件下所得测量列的分散性中, 故不另做分析。

电压有效值示值误差连续测量 10 次, 得到测量列 (每次间隔至少一分钟):

测量次数	1	2	3	4	5
测量结果 (V)	0.6285	0.6280	0.6780	0.6627	0.6583
测量次数	6	7	8	9	10
测量结果 (V)	0.7474	0.6739	0.6497	0.7283	0.7207

单次实验标准差: $s = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)} \approx 0.0416\text{V}$;

则 $u(U_x) = 0.0416\text{V}$ 。

A.4.2 输入量 U_n 的标准不确定度 $u(U_n)$ 的评定

由电压互感器比值测量和功率分析仪测量误差引入的标准不确定度, 采用 B 类方法进行评定 (大小用测量误差限值表示, 二次额定电压 U_b 为 $0.1/\sqrt{3}\text{kV}$, 电压互感器额定变比 K_U 为 60)。

A.4.2.1 标准电压互感器误差引入的不确定度

0.01 级电压互感器, 比值差最大允许误差为 $\varepsilon = \pm 0.01\%$, 区间半宽度为 0.01% , 在此区间内可认为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, $u_{fU} = 0.01\% / \sqrt{3} \times 60 \times (100 / \sqrt{3})\text{V} = 0.2000\text{V}$ 。

A.4.2.2 标准功率分析仪引入的不确定度

0.05 级功率分析仪, 最大允许误差为 $\varepsilon = \pm 0.05\%$, 区间半宽度为 0.05% , 在此区间内可认为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, $u_{KU} = 0.05\% / \sqrt{3} \times 60 \times (100 / \sqrt{3})\text{V} = 1.0000\text{V}$ 。

标准不确定度 $u(U_n) = \sqrt{u_{fU}^2 + u_{KU}^2} \approx 1.0198\text{V}$

A.5 交流功率输入量的标准不确定度评定

A.5.1 输入量 W_x 的标准不确定度 $u(W_x)$ 的评定

标准不确定度 $u(W_x)$ 主要是交流数字功率表及互感器合成误差的测量重复性引入的, 可通过连续测量得到测量列, 采用 A 类方法进行评定。标准功率源的调节细度, 数据采集软件所引起的不确定度已包含在重复性条件下所得测量列的分散性中, 故不另做分析。

交流功率示值误差连续测量 10 次, 得到测量列 (每次间隔至少一分钟):

测量次数	1	2	3	4	5
测量结果 (W)	29.0085	23.5008	20.8534	24.9137	23.3499
测量次数	6	7	8	9	10
测量结果 (W)	23.4889	22.2823	19.7410	28.8659	21.3098

单次实验标准差: $s = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)} \approx 3.127W$;

则 $u(W_x) = 3.127W$ 。

A.5.2 标准设备整体功率测量的综合不确定度 $u(W_n)$ 的评定, 数据修约和二次压降引入的不确定度对计算结果影响较小, 可以忽略。

A.5.2.1 标准功率分析仪功率测量引入的不确定度 $u(W_b)$ 的评定

0.05 级功率分析仪, 标准功率分析仪交流功率经上级计量机构量值传递, 符合其技术指标要求。即标准功率分析仪交流功率在 $\cos\varphi=1.0$ 时, 最大允许误差为 $\pm 0.05\%$, 区间半宽度为 0.05% , 在区间内可认为服从均匀分布, 包含因子 k 取 $\sqrt{3}$, 标准不确定度为: $u(W_b) = 0.05\% / \sqrt{3} \times (6000 / \sqrt{3} \times 50 \times 1)W = 50.0000W$ 。

A.5.2.2 有功功率计量时互感器的合成不确定度 $u(W_h)$ 的评定

0.005 级电流互感器, 利用最大允差进行计算, 比差误差限为 $\varepsilon=50 \times 10^{-6}$, 属均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, $u_{fI}=0.005\% / \sqrt{3} \approx 0.0029\%$; 角差误差限为 $\varepsilon=0.000050\text{rad}$, 属均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, $u_{\delta I}=0.000050 / \sqrt{3} \approx 0.000029\text{rad}$ 。0.01 级电压互感器, 利用最大允差进行起算, 比差误差限为 $\varepsilon=0.01\%$, 属均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, $u_{fU}=0.01\% / \sqrt{3} \approx 0.0058\%$; 角差误差限为 $\varepsilon=0.3'$, 属均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, $u_{\delta U}=0.3' / \sqrt{3} \approx 0.1732'$ 。

互感器合成误差公式为: $\varepsilon_p = f_I + f_U + 0.0291(\alpha - \beta)\tan\varphi$, 式中 f_U 为电压互感器的比差; f_I 为电流互感器的比差; α 为电流互感器的角差; β 为电压互感器的角差; φ 为实际负载下的功率因数角。式中各输入量间均不相关, 相关系数为零。所以当 $\cos\varphi=1$, $\varphi=0^\circ$, $\tan\varphi=0$, $u(W_h) = \sqrt{u_{fI}^2 + u_{fU}^2 + 0 \times (u_{\delta I}^2 + u_{\delta U}^2) \times (6000/\sqrt{3} \times 50 \times 1)W} \approx 0.0065\% \times (6000/\sqrt{3} \times 50 \times 1)W \approx 11.2587W$ 。

A.5.3 标准设备整体功率测量的综合不确定度 $u(W_n)$ 由功率分析仪单元的不确定度 $u(W_b)$ 和互感器的合成不确定度 $u(W_h)$ 按方和根的综合得到。

当 $\cos\varphi=1$ 时, 得到: $u(W_n) = \sqrt{[u(W_b)]^2 + [u(W_h)]^2} = \sqrt{50.0000^2 + 11.2587^2} \approx 51.25W$

A.6 合成标准不确定度的评定

A.6.1 合成标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总表

测试点	标准不确定度分量	不确定度来源	类型	ci	标准不确定度
50A/5A	$u(I_x)$	测量重复性	A	1	0.0011A
	$u(I_n)$	标准设备整体测量误差	B	-1	0.0145A
$(6/\sqrt{3})$ kV / $(0.1/\sqrt{3})$ kV	$u(U_x)$	测量重复性	A	1	0.0416V
	$u(U_n)$	标准设备整体测量误差	B	-1	1.0198V
$\cos\varphi=1.0$	$u(W_x)$	测量重复性	A	1	3.127W
	$u(W_n)$	标准设备整体测量误差	B	-1	51.25W

A.6.2 合成标准不确定度

$u_c(\Delta I) \approx 0.0145A$; $u_c(\Delta U) \approx 1.021V$; 在 $\cos\varphi=1.0$ 时, $u_c(\Delta W) \approx 51.35W$ 。

A.7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度 $U=ku_c$ 。

电流有效值扩展不确定度 $U=ku_c=2 \times 0.0145A=0.029A$, 换算至相对扩展不确定度 $U_{rel}=0.029/50 \times 100\% \approx 0.06\%$;

电压有效值扩展不确定度 $U=ku_c=2 \times 1.021V=2.042V$, 换算至相对扩展不确定度

$$U_{\text{rel}}=2.042/(6000/\sqrt{3})\times 100\% \approx 0.06\%;$$

在 $\cos\varphi=1.0$ 时, 有功功率扩展不确定度 $U=ku_c=2\times 51.35\text{W}=102.70\text{W}$, 换算至相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}=102.70/(6000/\sqrt{3}\times 50\times 1)\times 100\% \approx 0.06\%$ 。

A.8 各参数不确定度汇总

该变压器损耗测量系统校准装置测量结果的相对扩展不确定度为 ($k=2$):

电流有效值相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}=0.06\%$;

电压有效值相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}=0.06\%$;

在 $\cos\varphi=1.0$ 时, 有功功率相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}=0.06\%$ 。

附录 B

校准原始记录格式

编号:

样品信息: 收样日期: ____年____月____日

校准日期: ____年____月____日

样品编号		样品名称		型 号	
制 造 厂		委托单位		委托编号	

标准器信息:

标准器名称		标准器型号		标准器编号	
测量范围		不确定度或准确度等级 或最大允许误差		最小示值	
计量证书号		出证机构		有 效 期	
校准依据					

校 准 结 果

一、外观检查:

二、通电检查:

三、电流有效值示值误差测量 (50Hz/60Hz)

电流互感器档位		A 相			B 相			C 相		
标准	被校	标准设备 示值 (A)	被校系统 示值 (A)	误差 (%)	标准设备 示值 (A)	被校系统 示值 (A)	误差 (%)	标准设备 示值 (A)	被校系统 示值 (A)	误差 (%)

四、电压有效值示值误差测量 (50Hz/60Hz)

电压互感器档位		A 相			B 相			C 相		
标准	被校	标准设备 示值 (V)	被校系统 示值 (V)	误差 (%)	标准设备 示值 (V)	被校系统 示值 (V)	误差 (%)	标准设备 示值 (V)	被校系统 示值 (V)	误差 (%)

五、____相有功功率示值误差测量 (50Hz/60Hz)

标准互感器		被校互感器		$\cos\varphi=1$			$\cos\varphi= L$		
CT 档位	PT 档位	CT 档位	PT 档位	标准表 示值 (W)	被校表 示值 (W)	误差 (%)	标准表 示值 (W)	被校表 示值 (W)	误差 (%)
标准互感器		被校互感器		$\cos\varphi= L$			$\cos\varphi= L$		
CT 档位	PT 档位	CT 档位	PT 档位	标准表 示值 (W)	被校表 示值 (W)	误差 (%)	标准表 示值 (W)	被校表 示值 (W)	误差 (%)

校准结果的不确定度：电流有效值 $U_{rel} = \%$ ($k=2$)；电压有效值 $U_{rel} = \%$ ($k=2$)；有功功率 $U_{rel} = \%$ ($k=2$)。

附录 C

校准证书内页格式

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	检定/校准证书编号	证书有效期至	溯源单位
校准的地点、时间、环境条件：					
地点：		时间：			
温度：		湿度：			
校准机构授权说明					

注:

1. XXXXX 仅对加盖“XXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对所校准的对象有效。
3. 未经实验室书面批准，不得部分复印证书

一、外观检查：

二、通电检查：

三、电流有效值示值误差测量（50Hz/60Hz）

电流互感器档位		A 相			B 相			C 相		
标准	被校	标准设备 示值 (A)	被校系统 示值 (A)	误 差 (%)	标准设备 示值 (A)	被校系统 示值 (A)	误 差 (%)	标准设备 示值 (A)	被校系统 示值 (A)	误 差 (%)

四、电压有效值示值误差测量（50Hz/60Hz）

电压互感器档位		A 相			B 相			C 相		
标准	被校	标准设备示 值 (V)	被校系统 示值 (V)	误差 (%)	标准设备 示值 (V)	被校系统 示值 (V)	误 差 (%)	标准设备示 值 (V)	被校系统 示值 (V)	误 差 (%)

五、_____相有功功率示值误差测量 (50Hz/60Hz)

标准互感器		被校互感器		$\cos\varphi=$ L			$\cos\varphi=$ L		
CT 档位	PT 档位	CT 档位	PT 档位	标准表 示值 (W)	被校表 示值 (W)	误差 (%)	标准表 示值 (W)	被校表 示值 (W)	误差 (%)
标准互感器		被校互感器		$\cos\varphi=$ L			$\cos\varphi=$ L		
CT 档位	PT 档位	CT 档位	PT 档位	标准表 示值 (W)	被校表 示值 (W)	误差 (%)	标准表 示值 (W)	被校表 示值 (W)	误差 (%)

本次校准结果的测量不确定度:

电流有效值: $U_{rel} = \%$ ($k=2$);

电压有效值: $U_{rel} = \%$ ($k=2$);

有功功率: $U_{rel} = \%$ ($k=2$)。