JJF

# 陕 西 省 地 方 计 量 技 术 规 范

JJF（陕）XXX－2021

# 变压器交流阻抗参数测试仪校准规范

Calibration Specification of Transformer AC Impedance Parameter Testers

（报批稿）

2021－XX－XX 发布　　2021－XX－XX 实施

陕 西 省 市 场 监 督 管 理 局 发布

# 变压器交流阻抗参数测试仪校准规范

**Calibration Specification of Transformer AC Impedance Parameter Testers**

**JJF(陕) xxx－2021**

归 口 单 位：陕西省市场监督管理局

主要起草单位：陕西省计量科学研究院

本规范由陕西省市场监督管理局负责解释

**本规范主要起草人：**

董红斌（陕西省计量科学研究院）

汤元会（陕西省计量科学研究院）

贾永国（陕西省计量科学研究院）

**参加起草人：**

杨刚炜（陕西省计量科学研究院）

刘清卫（陕西省计量科学研究院）

陈怡伶（陕西省计量科学研究院）

兰　鹏（陕西省计量科学研究院）

# 目　　录

引言……（2）
1　范围……（1）
2　引用文件……（1）
3　概述……（1）
4　计量特性……（1）
5　校准条件……（2）
5.1　环境条件……（2）
5.2　测量标准及配套设备……（2）
6　校准项目和校准方法……（2）
6.1　校准项目……（2）
6.2　校准方法……（3）
7　校准结果的表达……（4）
8　复校时间间隔……（5）
附录 A 校准原始记录（推荐）格式样式……（6）
附录 B 校准证书结果页（推荐）格式样式……（8）
附录 C 变压器交流阻抗参数试仪校准结果测量不确定度评定示例……（11）

# 引　　言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、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》等基础性系列规范文件进行制定。

本规范为首次发布。

# 变压器交流阻抗参数测试仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于变压器交流阻抗测试仪校准，也适用于变压器空负载损耗参数测试仪、变压器短路阻抗测试仪和发电机交流阻抗测试仪的校准。

## 2 引用文件

本规程引用了下列文件：

GB 1094.1—2013 电力变压器第 1 部分 总则

GB 1094.2—2013 电力变压器第 2 部分 温升

DL/T 1093—2018 电力变压器绕组变形的电抗法检测判断导则

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；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 概述

变压器空负载损耗参数测试仪、变压器短路阻抗测试仪和发电机交流阻抗测试仪（以下简称测试仪）用于测量变压器或发电机在空载或短路状态下的损耗情况及各类特征值。测试仪所测的量包括电流、电压、频率以及通过这些量计算出的变压器或发电机的空载损耗、负载损耗、短路阻抗、阻抗电压等参数。测试仪基本的工作原理图如图 1 所示：

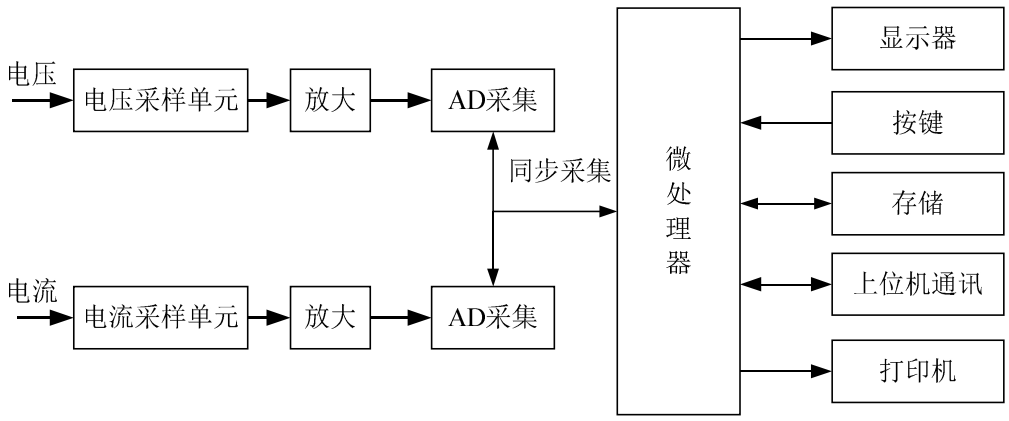



图 1 交流阻抗参数测试仪原理

## 4 计量特性

### 4.1 电压测量

测试仪必须具备电压测量功能，电压测量上限值不小于 100 V。

### 4.2 电流测量

测试仪必须具备电流测量功能，电流测量上限值不小于 1 A。

4.3 频率测量

测试仪应该具备频率测量功能，频率测量范围为(45~65) Hz。

4.4 相位角测量

测试仪应该具备相位角测量功能。

4.5 计算参数测量

测试仪一般具备空载损耗、负载损耗、短路阻抗、阻抗电压等参数的计算功能。

注：以上指标不适用于合格性判定，仅供参考。

## 5 校准条件

5.1 环境条件

a）环境温度：（15~25）℃；

b）相对湿度：（30%~80%）

c）供电电源：电压（220±22）V，频率（50±0.5）Hz；

5.2 测量标准及其他设备

校准各项目所用标准设备见表 1。

**表 1 校准用标准器及配套设备**

| 名称 | 主要技术指标 |
|---|---|
| 多功能校准源 | 各参数的测量扩展不确定度应优于被校测试仪相应参数最大允许误差的 1/3 |
| 绝缘电阻表 | 测量电压 500 V，准确度等级不低于 10 级 |
| 耐电压测试仪 | 输出电压≥2000 V，准确度等级不低于 5 级 |

注：除以上标准设备外，也可以使用其他符合上述要求的计量器具作为标准设备。

## 6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表 2。

**表 2 校准项目**

| 序号 | 校准项目 | 校准方法条款 |
|---|---|---|
| 1 | 电压测量误差 | 6.2.2 |
| 2 | 电流测量误差 | 6.2.3 |
| 3 | 频率测量误差 | 6.2.4 |
| 4 | 相位角测量误差 | 6.2.5 |
| 5 | 计算参数测量误差 | 6.2.6 |

6.2　校准方法

6.2.1 外观及通电检查

测试仪的制造厂名或商标、出厂编号、仪器名称、型号等信息应齐全；被校测试仪的机壳、端钮、开关和按键等应无影响校准或使用安全的松动、损伤、脱落；各种功能标志应齐全正确。通电后，各项开关和按键应能正常工作，各种显示均应正常。

6.2.2 电压测量误差

用多功能校准源，采用标准源测量法,在测试仪的测量范围内至少选取 5 个点，按图 2 所示接线，分别读取多功能校准源电压输出设定值 $U_N$ 和测试仪的示值 $U_X$ ，按(1)式计算电压的测量误差。校准电路如图 2 所示：

$$\gamma_{\mathrm{U}}=\frac{U_{\mathrm{X}}-U_{\mathrm{N}}}{U_{\mathrm{N}}}\times 100\% \qquad (1)$$

式中：

$\gamma_{\mathrm{U}}$——电压测量示值误差

$U_{\mathrm{x}}$——电压测量示值

$U_{\mathrm{N}}$——标准电压设定值

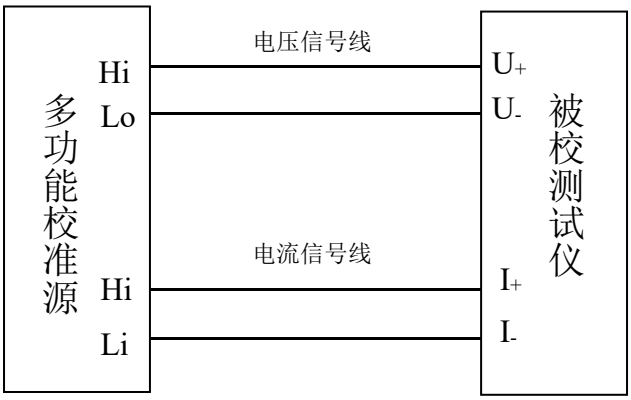



图 2 测试仪校准系统连接图

6.2.3 电流测量误差

用多功能校准源，采用标准源测量法,在测试仪的测量范围内至少选取 5 个点，按图 2 所示接线，分别读取多功能校准源电流输出设定值 $I_{\mathrm{N}}$ 和测试仪的示值 $I_{\mathrm{X}}$，按(2)式计算电流的测量误差。校准电路如图 2 所示：

$$\gamma_{\mathrm{I}}=\frac{I_{\mathrm{X}}-I_{\mathrm{N}}}{I_{\mathrm{N}}}\times 100\% \qquad (2)$$

式中：

$\gamma_I$——电流测量示值误差

$I_X$——电流测量示值

$I_N$——标准电流设定

6.2.4 频率测量误差

用多功能校准源，采用标准源测量法,在测试仪的测量范围内，至少选取 3 个点，按图 2 所示接线，分别读取多功能校准源频率输出设定值$f_N$和测试仪的示值$f_X$，按(3)式计算频率的测量误差。校准电路如图 2 所示：

$$\gamma_f = \frac{f_X - f_N}{f_N} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$\gamma_f$——频率测量示值误差

$f_X$——频率测量示值

$f_N$——频率电压设定值

6.2.5 相位角测量误差

接线方式见图 2，标准功率源的电压输出设置为 100 V,标准功率源的电流输出设置为 1 A，相位角设置为 90°，读取被校测试仪相位测量角$\varphi_X$，以绝对误差计算。

6.2.6 计算参数测量误差

用多功能校准源，采用标准源测量法,在测试仪的测量范围内，至少选取 3 个点，对每一种计算参数读取测试仪显示值$\tau_X$，用多功能校准源输出的电压、电流和功率因数通过理论公式计算出标准参数值$\tau_N$，按(4)式计算参数计算的误差。校准电路如图 2 所示：

$$\gamma_\tau = \frac{\tau_X - \tau_N}{\tau_N} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$\gamma_\tau$——计算参数示值误差

$\tau_X$——计算参数测量示值

$\tau_N$——计算参数标准值

6.2.7 绝缘电阻测量

用测量电压为 500 V 的绝缘电阻表，测量测试仪电源输入端对机壳的绝缘电阻，测量结果应大于 20 MΩ。

6.2.8 介电强度试验

在测试仪的电源输入端与外壳之间施加工频电压 1500 V，历时 1 min，应无击穿或闪络现象。

## 7 校准结果的表达

经校准的分析仪发给校准证书，校准结果应在校准证书上反映。校准证书内容及内页格式（参考）见附录 B。

## 8 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 12 个月。

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　校准原始记录（推荐）格式样式

## 变压器交流阻抗参数测试仪校准原始记录

委托单位：_____　　原始记录编号：_____

仪器名称：_____　　制造单位：_____

型号规格：_____准确度等级：_____出厂编号：_____

校准技术依据：_____环境温度：_____℃　相对湿度：_____%

校准地点：_____　校准日期：_____

校准用主要计量测量设备：

| 名称 | 型号规格 | 不确定度或准确度等级或最大允许误差 | 出厂编号 | 证书编号 | 有效期 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

1．外观检查：

2．通电检查：

3．电压测量误差

| 量程 | 标准值(V) | 示值(V) | 示值误差 | $U$ ($k$=2) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

4．电流示值误差

| 量程 | 标准值(A) | 示值(A) | 示值误差 | $U$ ($k$=2) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

5．频率示值误差

| 量程 | 标准值(Hz) | 示值(Hz) | 示值误差 | $U$ ($k$=2) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

6．相位角示值误差

| 量程 | 标准值(°) | 示值(°) | 示值误差 | $U$ ($k$=2) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

7．功率计算参数误差

| 功率(W) 电压(V) 电流(A) | 标准值/Ω | 显示值/Ω | | | 不确定度(k=2)（参见附录 C 评定） |
|---|---|---|---|---|---|
| | | A 相 | B 相 | C 相 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

8．阻抗计算参数误差

| 电压设定值(V) 电流设定值(A) | 阻抗标准值 | 显示值 | | | 不确定度(k=2)（参见附录 C 评定） |
|---|---|---|---|---|---|
| | | A 相 | B 相 | C 相 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

校准：_____ 核验：_____ 校准日期：_____

# 附录 B

## 校准证书内容及内页格式（参考）格式

B.1　校准证书应至少包括以下信息：

a）标题：“校准证书”；

b）实验室的名称和地址；

c）进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；

d）证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

e）送校单位的名称；

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应用有关时，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，应对被校样品的抽样程序进行说明；

i) 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）校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；

o）校准结果仅对校准对象有效的声明；

p）未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

B.2　校准证书内页格式（参考）：

证书编号：XXXX-XXXX

# 校准结果

1．外观检查：

2．通电检查：

3．电压测量误差

| 量程 | 标准值(V) | 示值(V) | 示值误差 | $U$ ($k$=2) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

4．电流示值误差

| 量程 | 标准值(A) | 示值(A) | 示值误差 | $U$ ($k$=2) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

5．频率示值误差

| 量程 | 标准值(Hz) | 示值(Hz) | 示值误差 | $U$ ($k$=2) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

6．相位角示值误差

| 量程 | 标准值(°) | 示值(°) | 示值误差 | $U$ ($k$=2) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

7．功率计算参数误差

| 功率(W) 电压(V) 电流(A) | 标准值/Ω | 显示值/Ω | | | 不确定度($k$=2)（参见附录C评定） |
|---|---|---|---|---|---|
| | | A 相 | B 相 | C 相 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

8．阻抗计算参数误差

| 电压设定值(V) 电流设定值(A) | 阻抗标准值 | 显示值 | | | 不确定度($k$=2)（参见附录C评定） |
|---|---|---|---|---|---|
| | | A 相 | B 相 | C 相 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

以下空白

校准：_____ 核验：_____ 校准日期：_____

# 附录 C

## 变压器交流阻抗参数测试仪校准结果测量不确定度评定示例

### C.1 概述

环境条件：温度：21.5℃，相对湿度：40%；

测量标准：多功能校准源；

被测对象：变压器低电压短路阻抗测试仪；

测量方法：以电压例，采用直接测量法，用多功能校准源输出100V电压值，记录被校测试仪示值，计算示值误差。

### C.2 测量模型

测量模型为：

变压器短路阻抗测试仪电压示值误差$\Delta V$：

$$\Delta V = V_X - V_N$$

式中：

$\Delta V$——示值误差，V；

$V_X$——被校测试仪示值，V；

$V_N$——标准装置电压设定值，V。

### C.3 不确定度传播率：

$$u_c^2 = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_1^2 \qquad (C.1)$$

式中，灵敏系数$c_1 = {\partial(\Delta V)}/{\partial(\Delta V_X)} = 1, c_2 = {\partial(\Delta V)}/{\partial(\Delta V_N)} = -1$

### C.4 标准不确定度评定

C.4.1 由多功能校准源电压误差引入的不确定度分量$u_1$，用 B类标准不确定度评定。

多功能校准源电压设置为 100 V 点的最大允许误差为 (0.05% ×100) V，则其不确定度区间半宽为 0.05 V，按均匀分布计算。包含因子$k = \sqrt{3}$，则有：

$$u_1 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} V = 0.0289 V \qquad (C.2)$$

C.4.2 测量重复性引入的不确定度 $u_2$

变压器短路阻抗测试仪的测量重复性引入的不确定度，重复测量 10 次。数据如下：

| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 示值误差（V） | 0.077 | 0.077 | 0.077 | 0.077 | 0.077 | 0.077 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 |

由上表数据计算得出其实验标准差 $S=\sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{10}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}$ =5.164 × $10^{-4}$V，则 $u_2=S=5.164\times10^{-4}\mathrm{V}$ 。

C.4.3　由短路阻抗测试仪分辨力引入的不确定度 $u_3$

测试仪在 100 V 点的分辨力为 0.001 V，在±0.001 V 区间内认为为均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$，则有：

$$u_3=\frac{0.0005}{\sqrt{3}}V=2.89\times10^{-4}V \qquad (C.3)$$

考虑到被校测试仪读数的重复性和分辨力存在重复，在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去，故由短路阻抗测试仪分辨力引入的不确定度分量舍弃。

## C.5　合成标准不确定度

标准不确定度分析一览表

| 输入量 $X_i$ | 不确定度来源 | 标准不确定度 | 灵敏度系数 | 不确定度分量 |
|---|---|---|---|---|
| $V_N$ | 多功能校准源 | 0.0289 V | -1 | 0.0289 V |
| $V_X$ | 被校测试仪重复性 | 5.164×$10^{-4}$ V | 1 | 5.164×$10^{-4}$ V |

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，所以合成标准不确定度为：

$$u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2}=0.0289\ \mathrm{V} \qquad (C.4)$$

合成相对标准不确定度 $u_{rel}=u_c/100\mathrm{V}=2.89\times10^{-4}$

## C.6　扩展不确定度

取 $k$=2，$U_{rel}=ku_{rel}=2\times2.89\times10^{-4}\approx5.8\times10^{-4}$。

注：其他参量校准结果不确定度可参考本评定示例进行。