

河北省地方计量技术规范

JJF(冀)xxx—xxxx

绕组变形测试仪校准规范

Calibration Specification for Winding Deformation Testers

(报批稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

河北省市场监督管理局 发布

绕组变形测试仪校准规范

Calibration Specification for Winding

Deformation Testers

JJF(冀)XXX—20XX

归口单位：河北省市场监督管理局

起草单位：河北省计量监督检测研究院

本规范由河北省计量监督检测研究院负责解释

本规范主要起草人：

李德亨（河北省计量监督检测研究院）

赵冬松（河北省计量监督检测研究院）

苏彩山（河北省计量监督检测研究院）

参加起草人：

迟俊胜（河北省计量监督检测研究院）

李凌云（河北省计量监督检测研究院）

李 磊（河北省计量监督检测研究院）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
5.1 扫频频率.....	(2)
5.2 幅值比.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 测量标准及其他设备.....	(2)
7 校准项目及校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(3)
8 校准结果表达.....	(5)
9 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 绕组变形测试仪测量结果不确定度评定示例.....	(6)
附录 B 校准原始记录格式.....	(11)
附录 C 校准证书内页格式.....	(12)

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》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为河北省地方计量技术规范的首次制定。

绕组变形测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于采用频率响应分析法的电力变压器绕组变形测试仪（以下简称测试仪）的校准。

2 引用文件

本方法引用了下列文件：

GB/T 1094.18—2016 电力变压器第 18 部分：频率响应测量

DL/T 911—2016 电力变压器绕组变形的频率响应分析法

DL/T 1951—2018 变压器绕组变形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方法；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有修改单）适用于本方法。

3 术语和计量单位

3.1 绕组变形 winding deformation

指电力变压器绕组在电动力或机械力作用下发生的轴向或径向形态变化，通常表现为绕组局部扭曲、鼓包或移位等特征。

3.2 频率响应 frequency response

在一定频率范围内，一端由电压源激励的试品两端测量电压的幅值比及相角差。

注 1：频率响应测量结果是在一定频率范围内的具体频率上的幅值比及相角差。

注 2：被测的电压是通过阻抗的电压，因而也与电流相关。

3.3 频率响应分析（FRA）frequency response analysis

通过频率响应测量来探测损伤的技术。

3.4 幅值比 amplitude ratio

以对数形式表示的不同频率下相应端电压 U_2 和激励端电压 U_1 的信号幅值之比，用于表征幅频响应曲线 $H(f)$ 。

$$H(f) = 20 \lg \left[\frac{U_2(f)}{U_1(f)} \right] \quad (1)$$

式中： $H(f)$ ——频率为 f 时传递函数的模 $|H(jw)|$ ，dB；

$U_2(f)$ 、 $U_1(f)$ ——传递函数为 f 时响应端和激励端电压的幅值 $|U_2(jw)|$ 和 $|U_1(jw)|$ 。

4 概述

变压器绕组变形测试仪根据对变压器内部绕组特征参数的测量，采用内部故障频率响应分析(FRA)方法，对变压器内部故障做出判断。

变压器设计制造完成后，其线圈和内部结构就确定下来，因此每个线圈的频域特征响应也随之确定。

变压器在试验过程中发生匝间、相间短路，或在运输过程中发生冲撞，造成线圈相对位移，以及运行过程中在短路和故障状态下因电磁拉力造成线圈变形，就会使变压器绕组的分布参数发生变化。进而影响并改变变压器原有的频域特征，即频率响应发生幅度变化和谐振频点偏移等。测试仪通过扫频方式检测变压器各个绕组的频率响应特性，并对检测结果进行纵向、横向或综合比较，根据幅频响应特性的差异，判断变压器可能发生的绕组变形。测试仪由信号源、信号检测单元、信号处理单元、输出显示器等部分组成。

5 计量性能要求

5.1 扫频频率

5.1.1 测试仪扫频频率范围：1kHz~2MHz，可分成若干个频段分别检测。

5.1.2 测试仪扫频频率最大允许误差： $\pm 0.01\%$ 。

5.2 幅值比

5.2.1 测试仪动态幅值比测量范围：-100dB~20dB。

5.2.2 测试仪幅值比在-80dB~20dB 测量范围最大允许误差： $\pm 1\text{dB}$ 。

注：以上指标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

6.1.1 环境温度： $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ；环境相对湿度：20%~80%。

6.1.2 电源电压：交流 $220\text{V}\pm 22\text{V}$ ；频率 $50\text{Hz}\pm 0.5\text{Hz}$ ；总失真系数不超过 5%。

6.1.3 周围无影响测试仪正常工作的微波辐射或电磁场。

6.1.4 测试仪应预热到热稳定状态以后进行误差测量。预热时间按照制造者的规定。

6.2 测量标准及其他设备

校准时由标准器、辅助设备及环境条件等所引起的扩展不确定度应不大于被校测试仪基本误差限的 1/3。

主要标准设备有：

6.2.1 数字频率计

频率测量范围应覆盖 1kHz~2MHz，其在实际测量范围内的最大允许误差应不超过被

校测试仪允许误差的 1/3。

6.2.2 幅值比标准装置

幅值比测量范围：-100dB~20dB；其在实际测量范围内的最大允许误差： $\pm 0.2\text{dB}$ 。

6.2.3 变压器绕组变形测试仪校准装置

频率测量范围应覆盖 1kHz~2MHz，其在实际测量范围内的最大允许误差应不超过被校测试仪允许误差的 1/3。

幅值比范围：-100dB~20dB；其在实际测量范围内的最大允许误差： $\pm 0.2\text{dB}$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

测试仪的校准项目见表 1。

表 1 测试仪的校准项目

序号	校准项目	计量特性的条款	校准方法的条款
1	外观及通电检查	/	7.2.1
2	扫频频率	5.1	7.2.2
3	幅值比	5.2	7.2.3

注：根据被校绕组变形测试仪的功能和客户要求选择校准项目。

7.2 校准方法

7.2.1 外观及通电检查

7.2.1.1 外观检查

a) 测试仪的面板、机壳或铭牌上应有以下主要标志和符号：产品的名称及型号、制造厂名称或商标、制造日期、出厂编号。

b) 测试仪应设有接地端钮，并在其旁标以接地符号。

c) 测试仪不应有影响工作性能的损伤，所有旋钮、按键、开关等应牢固可靠，接线端子应完好。

d) 测试仪相应控制指示灯能正常点亮，不应存在引起使用、影响人身安全的其它缺陷。

7.2.1.2 通电检查

通电检查，测试仪应能正常工作。

7.2.2 扫频频率

在测试仪测量范围内均匀选取 10 个校准点（应包括测量范围的下限和上限），也可根据用户的需要选取校准点。

将测试仪设为单频点检测模式，按图 1 进行接线，测试仪的信号激励端口接入频率计

输入端或校准装置频率测量端，启动被校测试仪电源，按照选取的校准点设置测试仪频率输出，待测试仪输出频率稳定后，读取频率计显示值或校准装置频率显示值。

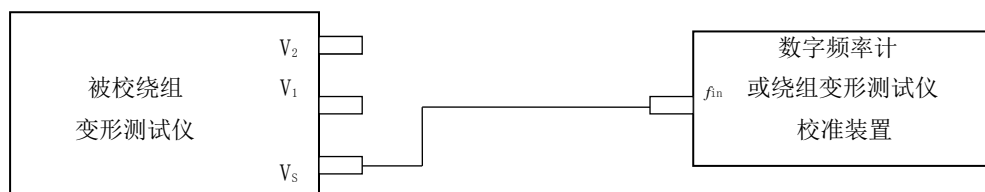


图 1 测试仪扫频频率校准接线图

V_s —激励端口； V_1 —参考端口； V_2 —响应端口； f_{in} —频率输入端口

测试仪扫频频率的绝对误差按式 (2) 计算：

$$\Delta_f = f_X - f_N \quad (2)$$

式中： Δ_f ——测试仪扫频频率的绝对误差，Hz；

f_X ——测试仪的设置频率值，Hz；

f_N ——频率计或校准装置测量值，Hz。

测试仪扫频频率的相对误差按式 (3) 计算：

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

式中： γ_f ——测试仪扫频频率的相对误差，%。

7.2.3 幅值比

按图 2 进行接线。在测试仪幅值比测量范围内将标准或校准装置均匀设定 5 个点，或根据用户的要求设定。任选其中 1 点幅值比分别在 7.2.2 选取的 10 个频率校准点进行试验，其它点幅值比分别在扫频频率测量范围内的下限值、中间值、上限值进行试验。

启动被校测试仪电源，按照选取的校准点进行校准，待校准装置输出校准值稳定后，读取测试仪显示值。

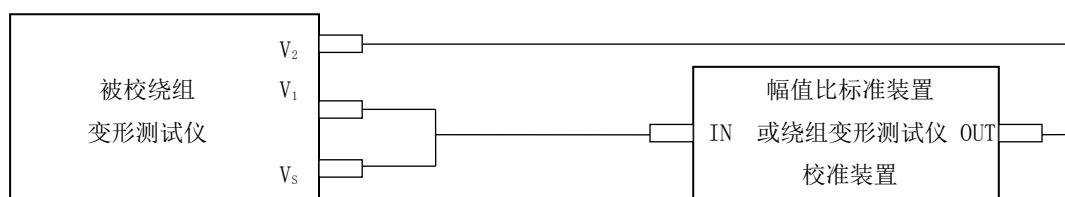


图 2 测试仪幅值比校准接线图

IN—幅值比标准装置或校准装置输入端口；OUT—幅值比校准装置或校准装置输出端口

测试仪幅值比的误差按式（4）计算：

$$\Delta_A = A_x - A_N \quad (4)$$

式中： Δ_A ——测试仪幅值比测量误差，dB；

A_x ——测试仪幅值比测量值，dB；

A_N ——校准装置幅值比设置值，dB。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映，校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- 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) 客户的名称和地址；
- 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) 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；
- 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

用户根据使用情况自主决定，一般建议复校时间间隔为 1 年。

附录 A

绕组变形测试仪测量结果的不确定度评定

1 概述

1.1 测量依据：JJF(冀)XXX-20XX 绕组变形测试仪校准规范

1.2 测量标准

SS7300 通用频率计数器：频率测量范围 0.1Hz~1GHz；允许误差 $\pm 1 \times 10^{-7}$ 。

幅值比标准装置：测量范围-100dB~20dB；最大允许误差 ± 0.2 dB。

1.3 环境条件：温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度:60%。

1.4 被测对象：绕组变形测试仪，频率允许误差 $\pm 0.01\%$ ，测量范围 10Hz~1Mz；幅值比测量范围-80dB~20dB，最大允许误差 ± 1 dB。

2 扫频频率示值测量结果的不确定度评定

2.1 测量过程：用通用频率计数器作标准。绕组变形测试仪接计数器频率输入端，测试仪输出设定频率值，计数器测得输出频率的实际值。下面以 10kHz 点为例进行频率示值测量结果的不确定度评定。

2.2 测量模型

$$f_x = f_N + \Delta_f$$

式中： Δ_f ——测试仪扫频频率示值绝对误差；

f_x ——测试仪的设定频率值；

f_N ——频率计数器测得频率实际值

2.3 测量结果最佳估计值的计算

由于整个校准装置稳定性、重复性很好，每个被测点只取一次测量值作为其测量结果，故测量结果的最佳估计值为：

$$f_x = f_N + \Delta_f$$

2.4 传播系数和方差

传播系数：

$$c(f_N) = \partial f / \partial f_N = 1$$

$$c(\Delta_f) = \partial f / \partial \Delta_f = 1$$

方差：

$$\begin{aligned} u^2(f_x) &= c^2(f_N)u^2(f_N) + c^2(\Delta_f)u^2(\Delta_f) \\ &= u^2(f_N) + u^2(\Delta_f) \end{aligned}$$

2.5 标准不确定度一览表（见表 1）

表 1 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)$
		10kHz
$u(f_N)$	通用频率计数器误差	$5.77 \times 10^{-7} \text{kHz}$
$u(\Delta_f)$	测量重复性	$1.14 \times 10^{-6} \text{kHz}$

2.6 计算分量标准不确定度

2.6.1 标准装置测量重复性给出的不确定度分量 $u(\Delta_f)$

用计数器对所选 10kHz 点进行 10 次重复测量，测量数据如下表（表 2）：

表 2 测量数据一览表

测量次数 \ 测量点	测量值 x_i (kHz)
	10
1	9.999952
2	9.999953
3	9.999952
4	9.999952
5	9.999954
6	9.999953
7	9.999950
8	9.999952
9	9.999951
10	9.999953
\bar{x}_i	9.9999522
$s_i = \sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$	$1.14 \times 10^{-6} \text{ kHz}$
$u(\Delta) = s_i$	$1.14 \times 10^{-6} \text{ kHz}$

2.6.2 由通用计数器误差引起的标准不确定度分量 $u(f_N)$

计数器的最大允许误差引起的标准不确定度分量 $u(f_N)$ ，采用 B 类方法进行评定。服从均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(f_N) = \frac{a}{k} = \frac{1 \times 10^{-7} \times 10}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-7} \text{kHz}$$

2.7 合成标准不确定度

$$\begin{aligned} u^2(f_X) &= c^2(f_N)u^2(f_N) + c^2(\Delta_f)u^2(\Delta_f) \\ &= u^2(f_N) + u^2(\Delta_f) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u(f_X) &= \sqrt{u^2(f_N) + u^2(\Delta_f)} \\ &= 1.28 \times 10^{-6} \text{kHz} \end{aligned}$$

2.8 扩展不确定度， k 取 2:

$$U = 2 \times u(f_X) = 2 \times 1.28 \times 10^{-6} = 2.6 \times 10^{-6} \text{kHz}$$

2.9 测量不确定度的报告表示:

绕组变形测试仪被测 10kHz 点测量结果的扩展不确定度为 $2.6 \times 10^{-6} \text{kHz}$ ， $k=2$

换算成相对扩展不确定度： $U_{\text{rel}} = 2.6 \times 10^{-7}$ ， $k=2$ 。

3 幅值比示值测量结果的不确定度评定

3.1 测量过程：用幅值比标准装置作标准。绕组变形测试仪正确连接标准装置，选择测量点，读取测试仪幅值比显示值。下面以 10kHz、10dB 点为例进行幅值比示值测量结果的不确定度评定。

3.2 测量模型

$$A_X = A_N + \Delta_A$$

式中： Δ_A ——测试仪幅值比测量误差；

A_X ——校测试仪幅值比测量值；

A_N ——校准装置幅值比设置值。

3.3 测量结果最佳估计值的计算

由于整个校准装置稳定性、重复性很好，每个被测点只取一次测量值作为其测量结果，故测量结果的最佳估计值为：

$$A_X = A_N + \Delta_A$$

3.4 方差和传播系数

传播系数：

$$c(A_N) = \partial f / \partial A_N = 1$$

$$c(\Delta_A) = \partial f / \partial \Delta_A = 1$$

方差：

$$\begin{aligned} u^2(A_X) &= c^2(A_N)u^2(A_N) + c^2(\Delta_A)u^2(\Delta_A) \\ &= u^2(A_N) + u^2(\Delta_A) \end{aligned}$$

3.5 标准不确定度一览表（见表 3）：

表3 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)$
		10dB
$u(A_N)$	幅值比标准装置误差	0.116 dB
$u(\Delta_A)$	测量重复性	0.0145 dB

3.6 计算分量标准不确定度

3.6.1 标准装置测量重复性给出的不确定度分量 $u(\Delta_A)$

用计数器对所选 10dB 点进行 10 次重复测量，测量数据如下表（表 4）：

表4 测量数据一览表

测量点 测量次数	测量值 x_i (dB)
	10
1	10.14
2	10.15
3	10.14
4	10.11
5	10.13
6	10.16
7	10.13
8	10.15
9	10.13
10	10.15
\bar{x}_i	10.139
$s_i = \sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$	0.0145 dB
$u(\Delta_A) = s_i$	0.0145 dB

3.6.2 由幅值比标准装置误差引起的标准不确定度分量 $u(A_N)$

幅值比标准装置的最大允许误差引起的标准不确定度分量 $u(A_N)$ ，采用 B 类方法进行评定。服从均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(A_N) = \frac{a}{k} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.116 \text{ dB}$$

3.7 合成标准不确定度

$$\begin{aligned}u^2(A_X) &= c^2(A_N)u^2(A_N) + c^2(\Delta_A)u^2(\Delta_A) \\ &= u^2(A_N) + u^2(\Delta_A)\end{aligned}$$

$$u(A_X) = \sqrt{u^2(A_N) + u^2(\Delta_A)}$$

$$= 0.117\text{dB}$$

3.8 扩展不确定度 (k 取 2)

$$U = 2 \times u(A_X) = 2 \times 0.117 = 0.24\text{dB}$$

3.9 测量不确定度的报告表示

测试仪被测 10dB 点测量结果的扩展不确定度为 $U=0.24\text{dB}$, $k=2$ 。

附录 B:

校准原始记录格式

绕组变形测试仪校准原始记录

第 页 共 页

委托单位:	校准证书编号:		
委托单位地址:	校准依据:		
仪器名称:	型号规格:	出厂编号:	
制造单位:	仪器状况:		
校准地点:	环境温度:	℃	相对湿度: %

校准用主要计量标准器具

名称	型号规格	不确定度/准确度等级/最大允许误差	出厂编号	证书编号	有效期

1、扫频频率示值校准

频带 (Hz)	频率设定值 (Hz)	实际值 (Hz)	测量结果的不确定度: $U_{rel,k=2}$

2、幅值比示值校准

扫频信号频率 (Hz)	幅值比设定值 (dB)	显示值 (dB)	测量结果的不确定度: $U_{rel,k=2}$

校准人员: _____ 核验人员: _____ 校准日期: 年 月 日

附录 C:

校准证书内页格式

证书编号: XXXXXX-XXXX

校准机构授权说明				
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/最大允许误差	检定/校准证书编号	证书有效期至

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。

第 X 页 共 X 页

证书编号: XXXXXX-XXXX

校准结果

1、扫频频率示值校准			
频带 (Hz)	频率设定值 (Hz)	实际值 (Hz)	测量结果的不确定度: $U_{rel}, k=2$

2、幅值比示值校准			
扫频信号频率 (Hz)	幅值比设定值 (dB)	显示值 (dB)	测量结果的不确定度: $U_{rel}, k=2$

校准结果不确定度的评估和表达均符合 JJF 1059.1 的要求。

校准员:

核验员:

第 X 页 共 X 页

