

**新疆维吾尔自治区地方计量技术规范**

**JJF（新）××－2023**

**变压器绕组变形测试仪校准规范**

**Calibration Specification for**

**Power Transformers Winding Deformation Tester**

**2024-×-×发布 2024-×-× 实施**

**新 疆 维 吾 尔 自 治 区 市 场 监 督 管 理 局 发 布**

**变压器绕组变形测试仪**

**JJF（新）××—2023**

**校准规范**

**Calibration Specification for**

**Power Transformers Winding Deformation Tester**

**归 口 单 位：** 新疆维吾尔自治区市场监督管理局

**主要起草单位：**新疆维吾尔自治区计量测试研究院

**参加起草单位：**国网新疆电力有限公司电力科学研究院

本规范委托新疆维吾尔自治区电磁计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

史鹏飞(新疆维吾尔自治区计量测试研究院)

倪大志(新疆维吾尔自治区计量测试研究院)

罗雪芳(新疆维吾尔自治区计量测试研究院)

**参加起草人：**

杨艳霞(新疆维吾尔自治区市场监督审核评价中心)

刘卫新(国网新疆电力有限公司电力科学研究院)

张晓磊(国网新疆电力有限公司电力科学研究院)

陈文涛(国网新疆电力有限公司电力科学研究院)

**目 录**

[引 言 II](#_Toc18697)

[1 范围 1](#_Toc22401)

[2 引用文件 1](#_Toc18061)

[3 术语和计量单位 1](#_Toc31931)

[4 概述 1](#_Toc6190)

[5 计量特性 2](#_Toc29713)

[5.1 扫频频率 2](#_Toc23847)

[5.2 衰减幅值 2](#_Toc21849)

[5.3 端口阻抗 2](#_Toc5462)

[6 校准条件 2](#_Toc21201)

[6.1 环境条件 2](#_Toc31861)

[6.2 校准所用测量标准及设备 3](#_Toc2556)

[7 校准项目和校准方法 3](#_Toc28673)

[7.1 校准项目 3](#_Toc18522)

[7.2 校准方法 3](#_Toc15747)

[8 校准结果 5](#_Toc19223)

[9 复校时间间隔 5](#_Toc25635)

[附录A 原始记录参考格式 6](#_Toc30936)

[附录B 校准证书内页格式 7](#_Toc27548)

[附录C 幅值衰减示值误差校准结果不确定度评定 8](#_Toc20308)

[附录D 频率校准结果不确定度评定 11](#_Toc17425)

# 引 言

JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成本规范制订的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

**变压器绕组变形测试仪校准规范**

1. 范围

本规范适用于频率响应分析法电力变压器绕组变形测试仪（以下简称测试仪）的校准，不适用于短路阻抗法或其它方法的测试仪的校准。

1. 引用文件

本规范引用下列文件：

GB/T 1094.18-2016 电力变压器 第18部分：频率响应测量

DL/T911-2016 电力变压器绕组变形的频率响应分析法

凡是注明日期的引用文件，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。

1. 术语

下列术语适用于本规范。

幅值比 amplitude ratio

以对数形式表示不同频率下的响应端电压*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*）



式中：

*H*（*f*）---频率为*f*时传递函数的模值，单位为dB

*U*1（*f*）----频率为*f*时激励端电压*U*1的幅值

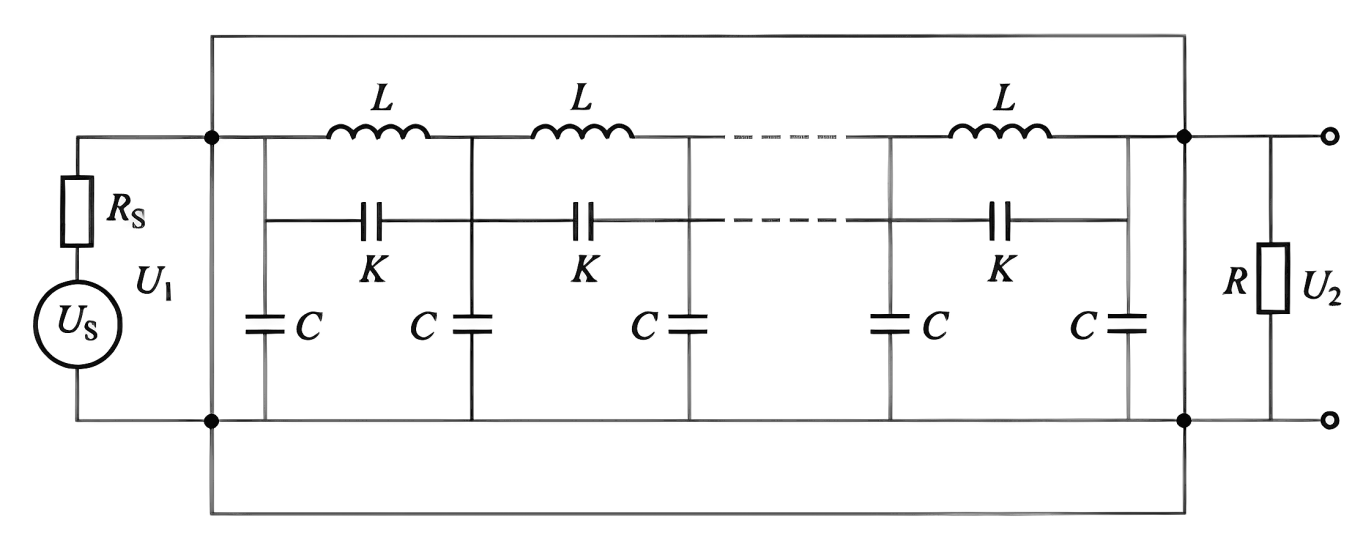
*U*2（*f*）----频率为*f*时响应端电压*U*2的幅值

1. 概述

在较高频率的电压作用下，变压器的每个绕组均可视为一个由线性电阻、电感（互感）、电容等分布参数构成的无源线性双端口网络，其内部特性可通过传递函数H(jω)描述，如图1所示。若绕组发生变形，绕组内部的分布电感、电容等参数必然改变，导致其等效网络传递函数H(jω)的零点和极点发生变化，使网络的频率响应特性发生变化。

用频率响应分析法检测变压器绕组变形，是通过检测变压器各个绕组的幅频响应特性，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。

变压器绕组的幅频响应特性可采用图1所示的频率扫描方式获得。 连续改变外施正弦波激励源Us的频率*f*(角频率ω=2π*f*), 测量在不同频率下的响应端电压 U2 和激励测试仪通过检测变压器各个绕组的幅频响应特性，根据幅频响应特性的差异，来判断变压器可能发生的绕组变形。测试仪的工作原理如图 1 所示。采用频率扫描方式，改变外施正弦波激励源VS 的频率*f* ，测量在不同频率下的测量端电压U2 和输入端电压U1信号的幅值之比，获得指定输入端和测量端情况下绕组的幅频响应曲线。

图1 测试仪工作原理

1. 计量特性

## 扫频频率

5.1.1 测试仪扫频频率输出范围:20Hz～2MHz，可分成若干个频段分别检测。

5.1.2 测试仪扫频频率输出最大允许误差：±0.1%。

## 衰减幅值

5.2.1 测试仪动态衰减幅值测量范围:-90dB～20 dB。

5.2.2 测试仪衰减幅值测量最大允许误差:±0.5dB。

## 端口阻抗

5.3.1 激励端口输出阻抗：50Ω±1Ω

5.3.2 输入端口输入阻抗：≥1MΩ

5.3.3 测量端口输入阻抗：≥1MΩ

注：以上指标不做合格判定依据，仅提供参考。

1. 校准条件

## 环境条件

6.1.1环境温度：23℃±5℃；

6.1.2环境相对湿度：≤80%；

6.1.3电源电压：220V±11V

6.1.4电源频率：50Hz±1Hz；

6.1.5电源总谐波失真：≤5%。

6.1.6校准场所没有可察觉的振动和影响仪器正常工作的电磁干扰。

## 校准所用测量标准及设备

* + 1. 频率计

测量范围：20Hz～2MHz，最大允许误差：±0.1Hz。

* + 1. 幅度校准装置

幅值衰减范围：-90dB～20dB，最大允许误差：±0.2dB。

* + 1. 数字多用表

电阻测量范围1Ω～100MΩ，最大允许误差：±1%。

1. 校准项目和校准方法

## 校准项目

校准项目见表1。

表1 校准项目

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 校准项目 |
| 1 | 扫频频率 |
| 2 | 衰减幅值 |
| 3 | 端口阻抗 |

## 校准方法

* + 1. 扫频频率

校准按图2 接线，启动被校测试仪电源，设置被校测试仪频率点，开始频率校准，待示值稳定后，读取频率计显示值，误差按(1)式计算：

(1)



式中：

δ*f*——扫频频率的相对频率偏差；

*f*x——被校测试仪设置频率，kHz；

*f*s——被校测试仪实测频率，kHz。

图2 频率校准原理图

变压器绕组变形测试仪（激励端口）

频率计

改变被校测试仪频率点，在1kH～1000kHz频率范围内选取不少于10个点进行校准。

* + 1. 衰减幅值

校准按图3 接线，启动被校测试仪电源，开始衰减幅值校准。在10kHz、100kHz和1000kHz三个频率点，于被校测试仪衰减幅值测量范围内按照10dB间隔选取校准点。

幅值衰减值的误差按(2)计算：

(2)



式中：

δA——测试仪衰减幅值测量误差，dB；

Ax ——测试仪衰减幅值测量值，dB；

As——标准装置衰减幅值设置值，dB。

图3 幅度校准原理图

变压器绕组变形测试仪

幅度校准装置

激励端口

参考端口

响应端口

* + 1. 端口阻抗

7.2.3.1激励端口的输出阻抗

测试仪设定为1kHz输出的单点扫频模式，用数字多用表分别测量信号激励端口在开路和50Ω负载时的电压值，如图4所示。根据公式（3）计算信号激励端口的输出阻抗，输出阻抗的测量结果应符合5.3.1的要求。

……………………………………(3)



式中：

*R*out——激励端口输出阻抗，Ω；

*U*1——空载时电压，V；

*U*2——50Ω阻抗时电压，V。

变压器绕组变形测试仪（激励端口）

数字多用表

50Ω负载

图4 输出阻抗校准原理图

7.2.3.2输入端口的输入阻抗

使用数字多用表的阻抗测量功能直接测量，测量结果应符合5.3.2的要求。

7.2.3.3测量端口的输入阻抗

使用数字多用表的阻抗测量功能直接测量，测量结果应符合5.3.2的要求。

1. 校准结果

变压器绕组变形测试仪校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

a)标题：“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说明；

p)未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

1. 复校时间间隔

仪器复校时间间隔，建议不超过1年。如果仪器经维修、更换重要部件或对仪器性能有怀疑时，应随时校准。

附录A

原始记录参考格式

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | |  | |  | |  |  | 第 1 页，共 2 页 | | |
|  |  | | | | | |  | |  | |  |  |  | | |
| 委托单位： | | |  | | |  | |  | |  | 类 型： |  | 出厂编号： |  | |
| 规格/型号： | | |  | | |  | |  | |  | 生产厂家： |  | | | |
| 主要测量设备： | | | |  | |  | |  | | | 测量范围： |  | | | |
| 扩展不确定度： | | | |  | |  | |  | | | 设备编号： |  | | | |
| 证书编号： | |  | | |  | | 有效期至： | |  | | 环境温度： |  | ℃ 环境湿度： |  | %RH |
| 校 准： |  | | | | | | 核 验： | |  | | 校准地点： |  | |  | |
| 校准项目及结果 | | | | | | | | | | | | | | | |

* 1. 频率示值误差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 显示值/Hz | 实际值/Hz | 误差/Hz | 不确定度  *k*＝2 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

* 1. 幅度示值误差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 设定值/dB | 实际值/dB | 误差/dB | 不确定度  *k*＝2 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

* 1. 端口阻抗

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 阻抗值/Ω | 不确定度，*k*＝2 |
| 输入阻抗 |  |  |
| 输入端输出阻抗 |  |  |
| 测量端输入阻抗 |  |  |

附录B

校准证书内页格式

* 1. 频率示值误差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 显示值/Hz | 实际值/Hz | 误差/% | 不确定度  *k*＝2 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

* 1. 幅度示值误差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 设定值/dB | 实际值/dB | 误差/dB | 不确定度  *k*＝2 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

* 1. 端口阻抗

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 阻抗值/Ω | 不确定度，*k*＝2 |
| 输入阻抗 |  |  |
| 输入端输出阻抗 |  |  |
| 测量端输入阻抗 |  |  |

# 附录C

# 幅值衰减校准结果不确定度评定

C.1 概述

C.1.1 测量依据：JJF（新）××－2023《变压器绕组变形测试仪校准规范》。

C.1.2 环境条件：环境：20℃±5℃，相对湿度：20%～80%。

C. 1.3 测量标准：变压器绕组变形测试仪幅度校准装置，最大允许误差0.2dB。

C. 1.4 被测对象：变压器绕组变形测试仪。

C. 1.5 测量过程:将幅度校准装置与被测变压器绕组变形测试仪直接连接，分别读取变压器绕组变形测试仪的显示值与幅度校准装置的设定值。

C.1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定方法，其中衰减幅度20dB点的测量结果的不确定度可直接使用本不确定度的评定结果。

C.2 测量模型

C.2.1 测量模型

Δ*V*= *V*x-*V*s

式中：Δ*V* —被测变压器绕组变形测试仪示值误差；

*V*x —被测变压器绕组变形测试仪示值

*V*s —变压器绕组变形测试仪校准装置设定值 （标准值）

C.2.2灵敏系数：

 = 1

 = -1

C.2.3 传播律公式

由于两个分量相互独立，故有

*u*2c（Δ*V* x）= *u*2（*V*X）+*u*2（*V*S）

C.3 全部输入量的标准不确定度评定

C.3.1 测量输入量*Vx* 引入的标准不确定度*u*（*Vx*）的评定

*u*（*Vx*）的主要来源包括被测变压器绕组变形测试仪的测量重复性与分辨力。

C.3.1.1 测量重复性引入的标准不确定度分量*u*1rel（*Vx*）的评定

设定幅度校准装置的衰减值20dB，在重复性条件下连续测量10次，获得1组测量值（dB）：20.2dB，20.2dB，20.2dB，20.2dB，20.3dB，20.3dB，20.2dB，20.1dB，20.2dB，20.2dB。

20.18dB

实验标准差为

=1.4×10-2dB

C.3.1.2 被测变压器绕组变形测试仪分辨力引入的标准不确定度分量*u*2（*Vx*）的评定

被测变压器绕组变形测试仪的分辨力为0.1dB，则：



C.3.1.3 *u*（*Vx*）的评定

因为由重复性带来的不确定度分量中包含有分辨力的影响，为了避免重复计算，*u*1（*Vx*）与*u*2（*Vx*）取两者中较大者，即有：

*u*（*Vx*）＝*u*1（*Vx*）＝0.029dB

C.3.2 输入量*Vs*引入的标准不确定度*u*（*Vs*）的评定

*u*（*Vs*）来源变压器绕组变形测试仪幅度校准装置。

C.3.2.1 变压器绕组变形测试仪幅度校准装置误差引入的标准不确定度分量*u*1（*Vs*）的评定

变压器绕组变形测试仪幅度校准装置在量程为（0～100）dB的最大允许误差为±0.2dB，在区间内可认为服从均匀分布，包含因子*k*=，则：



C.3.2.2 由于各个分量不相关，故有：



C.4 合成标准不确定度的评定

由C.2.3，合成标准不确定度为：



C.5 扩展不确定度的评定

取包含因子*k*=2,扩展不确定度*U*为：

*U***=***kuc*（δ*V*）=2×0.12dB＝0.24dB

C.6 其他测量点的测量不确定度评定

根据上述同样的评定方法，对其他测量点进行不确定度评定，得到结果见表C.1。

表C.1 常用校准点的测量不确定度计算结果

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准点/dB | 不确定度分量(dB) | | | *u*c(dB) | *U*，*k*＝2  (dB) |
| *u*1（*Vx*） | *u*2（*Vx*） | *u1*（*Vs*） |
| 10 | 0.014 | 0.029 | 0.12 | 0.12 | 0.3 |
| 20 | 0.014 | 0.029 | 0.12 | 0.12 | 0.3 |
| 30 | 0.014 | 0.029 | 0.12 | 0.12 | 0.3 |
| 40 | 0.014 | 0.029 | 0.12 | 0.12 | 0.3 |
| 50 | 0.014 | 0.029 | 0.12 | 0.12 | 0.3 |
| 60 | 0.014 | 0.029 | 0.12 | 0.12 | 0.3 |
| 70 | 0.014 | 0.029 | 0.12 | 0.12 | 0.3 |
| 80 | 0.014 | 0.029 | 0.12 | 0.12 | 0.3 |
| 90 | 0.014 | 0.029 | 0.12 | 0.12 | 0.3 |
| 100 | 0.014 | 0.029 | 0.12 | 0.12 | 0.3 |

# 附录D

# 频率校准结果不确定度评定

D.1 概述

D. 1.1 测量依据：JJF（新）××-2022《变压器绕组变形测试仪校准规范》。

D. 1.2 环境条件：环境：20℃±5℃，相对湿度：20%～80%。

D. 1.3 测量标准：1、测量接收机，型号HP8902A；功率电平最大允许误差MPE＝± 0.2 dB，测量范围：+10dBm~-127dBm；频率准确度：±1×10-9/日

2、频率计，型号：CNT-90；频率测量范围0.01Hz~3GHz

测量范围：频率：0.01Hz~150kHz（频率计），150kHz ~1300MHz（测量接收机）； 频率的扩展不确定度 ：*U*=7×10-6 ， *k*=2（频率计），*U*=1.6×10-8 ， *k*=2（测量接收机）

D. 1.4 被测对象：变压器绕组变形测试仪的型号为6061A，出厂编号为5155303，功率电平准确度：± 0.5dB

D. 1.5 测量过程

将检定装置CNT-90或HP8902A与被检信号源相连接，在信号源的电平为0dBm的情况下，对频率0.01Hz 、0.02Hz 、0.05Hz 、0.1Hz 、0.2Hz 、0.5Hz 、1Hz 、2Hz 、5Hz 、10 Hz 、20 Hz 、50 Hz 、100 Hz 、200 Hz 、500 Hz 、1 kHz、2 kHz、5 kHz、10 kHz、20 kHz、50 kHz、100 kHz、150kHz、200kHz、500kHz、1MHz、点进行了误差测量。由频率计或测量接收机读出信号源的输出值作为实际值。将被检信号源指示值与实际值相减，即为信号源的示值误差。

D. 1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测量结果，可直接使用本不确定度的评定方法。

D. 2 建立数学模型

D. 2.1 数学模型:



式中： —被测信号源误差；

—信号源输出示值

—频率计或测量接收机读数值（标准值）

D. 2.2 灵敏系数：





D. 2.3 传播率公式：因输入量彼此独立不相关，故

**

D. 3 输入量的不确定度评定

D. 3.1 输入量的标准不确定度的评定

测量重复性带来的不确定度分量采用A类方法进行评定。以200kHz点为例：

输入量的标准不确定度主要是测量不重复，通过连续测量得到测量列10次重复性测量，得到数据：(kHz)

200.0000、200.0000、200.0000、200.0000、200.0001、200.0000、200.0000、200.0000、200.0001、200.0000

  200.0000kHz

单次测量标准差：

s = 4.8×10-5 kHz

实际测量时进行3次，取3个测得值的平均值作为测量结果，则

=2.8×10-5 kHz

相对标准不确定度为：

=1.4×10-7

D. 3.2 分辨力引入的不确定度

分辨力为1×10-7MHz，按均匀分布，则不确定度

=1×10-7//0.2=1.4×10-7

D. 3.3 输入量的标准不确定度的评定

输入量的标准不确定度主要由时基频率10MHz引入，根据技术说明书，其标准不确定度由五个分量组成：老化率、温度变化、电源电压变化、1s短期稳定性、Power-on stability等引起， 采用B类方法评定。

（1） 老化率引入标准的不确定度

= 1.5×10-8

（2）温度变化引入标准的不确定度

= 4×10-10

（3）电源电压线性度引起的标准不确定度

 = 5×10-10

（4）频率的短期稳定性引起的标准不确定度

= 5×10-12

（5）Power-on stability /24小时，引起的标准不确定度

= 5×10-9

合成上面五个标准不确定度，得

=1.6×10-8

表D.1 标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度  分量 | 不确定度  来源 | 不确定度 | 概率分布 | ci | |ci|*u*(xi) |
|  | 测量重复性 | 1.9×10-7 | 正态分布 | / | / |
|  | 分辨力 | 3.8×10-7 | 均匀分布 | / | / |
|  | / | 3.8×10-7 |  | 1 | 3.8×10-7 |
|  | 标准器 | 1.6×10-8 | 均匀分布 | -1 | 1.6×10-8 |

D. 4 合成标准不确定度

由**代入得到：

*=*3.8×10-7

D. 5 扩展不确定度的评定

扩展不确定度 *U*rel  = *k*  =2×3.8×10-7 = 7.6× 10-7 ，*k*=2

D. 6 其他测量点的测量不确定度评定

根据上述同样的评定方法，对其他量程区间的测量点进行不确定度评定，得到结果如表2所示。

表D.2 测量不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | 不确定度分量 | | 合成不确定度  *u*crel | 扩展不确定度  *U*rel，*k*＝2 |
|  |  |
| 1 kHz | 0.3×10-8 | 7.0×10-6 | 7.0×10-6 | 1.4×10-5 |
| 2 kHz | 0.1×10-8 | 7.0×10-6 | 7.0×10-6 | 1.4×10-5 |
| 5 kHz | 0.3×10-8 | 7.0×10-6 | 7.0×10-6 | 1.4×10-5 |
| 10 kHz | 0.4×10-8 | 7.0×10-6 | 7.0×10-6 | 1.4×10-5 |
| 20 kHz | 0.3×10-8 | 7.0×10-6 | 7.0×10-6 | 1.4×10-5 |
| 50 kHz | 0.3×10-8 | 7.0×10-6 | 7.0×10-6 | 1.4×10-5 |
| 100 kHz | 0.1×10-8 | 7.0×10-6 | 7.0×10-6 | 1.4×10-5 |
| 150 kHz | 3.8×10-7 | 1.6×10-8 | 3.8×10-7 | 7.6×10-7 |
| 200 kHz | 2.9×10-7 | 1.6×10-8 | 2.9×10-7 | 5.8×10-7 |
| 500 kHz | 1.2×10-7 | 1.6×10-8 | 1.2×10-8 | 2.4×10-7 |
| 1 MHz | 6.0×10-8 | 1.6×10-8 | 6.0×10-8 | 1.2×10-7 |

**JJF（新）86－2022**

**新疆维吾尔自治区**

**地方计量校准规范**

**变压器绕组变形测试仪校准规范**

**JJF(新) 86－2023**

**新疆维吾尔自治区市场监督管理局发布**

\*

**版权所有 不得翻印**

\*

**880mm×1230mm 16开本**

**2023年x月第1版 2023年x月第1次印刷**

**印数 1-100**