

JJF

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

---

## 发电机转子交流阻抗测试仪校准规范

Calibration Specification for Generator Rotor AC Impedance Tester

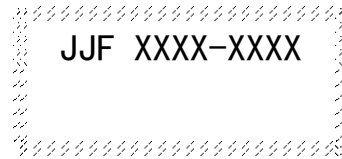
(征求意见稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

---

# 发电机转子交流阻抗测试仪 校准规范



Calibration Specification for  
Generator Rotor AC Impedance Tester

归口单位：全国电磁计量技术委员会

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：

本规范委托全国电磁计量技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：

参加起草人：

# 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 术语.....	1
3.2 计量单位.....	1
4 概述.....	1
4.1 用途.....	2
4.2 工作原理.....	2
5 计量特性.....	2
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 校准方法.....	4
7.1 校准项目.....	4
7.2 外观及通电检查.....	4
7.3 交流电压.....	4
7.4 交流电流.....	5
7.5 功率.....	6
7.6 频率.....	7
7.7 交流阻抗.....	8
8 校准结果.....	9
8.1 校准记录.....	9
8.2 校准证书.....	9
9 复校时间间隔.....	9
附录 A 发电机转子交流阻抗测试仪校准原始记录格式.....	10
附录 B 校准证书内容.....	121
附录 C 不确定度评定.....	143



# 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。

本规范主要参考 JJG124-2005《电压表、电流表、功率表及电阻表检定规程》、JJF1491-2014《数字式交流电参数测量仪校准规范》和 JJF1587-2016《数字多用表校准规范》编制而成。

本规范为首次制定的国家计量技术规范。

# 发电机转子交流阻抗测试仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于频率(45~75)Hz、交流电压(0.01~600)V、交流电流(0.01~120)A、功率(0.01~72)kW、交流阻抗(0.001~1000) $\Omega$ 范围内的发电机转子交流阻抗测试仪(以下简称测试仪)的校准。本规范不适用于直流电阻测试仪的校准。

## 2 引用文件

本规范引用以下文件:

JJG 124-2005 电压表、电流表、功率表及电阻表检定规程

JJF 1491-2014 数字式交流电参数测量仪校准规范

JJF1587-2016 数字多用表校准规范

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 术语和计量单位

### 3.1 术语

#### 3.1.1 发电机转子 generator rotor

发电机转子是由铁芯(或磁极、磁轭)绕组、互环、中心环、滑环、风扇及转轴等部件组成。转子的功能是产生磁场。

#### 3.1.2 交流阻抗 AC impedance

在具有电阻、电感和电容的电路里,对电路中的电流所起的阻碍作用叫做阻抗。阻抗常用 $Z$ 表示,是一个复数,实部为电阻,虚部为电抗,其中电容在电路中对交流电所起的阻碍作用称为容抗,电感在电路中对交流电所起的阻碍作用称为感抗,电容和电感在电路中对交流电引起的阻碍作用总称为电抗。

### 3.2 计量单位

阻抗的国际单位为欧姆( $\Omega$ ,简称欧),常用的单位还有毫欧( $m\Omega$ )、微欧( $\mu\Omega$ )、千欧( $k\Omega$ )等。

## 4 概述

#### 4.1 用途

测试仪主要是用于测量和分析发电机转子绕组匝间及调相机转子绕组交流阻抗的综合测量仪器（通过阻抗变化，分析绕组匝间是否短路），通过专门设计的测量电路可实现各种同步发电机转子静态、动态交流阻抗同步测量，交流电压、交流电流、有功功率、频率等参数的自动测量。

#### 4.2 工作原理

实际测量中交流阻抗幅值指某一频率下的电压有效值与电流有效值之比，交流阻抗测量的基本原理如图1所示。通过调压器调节输出电压施加到发电机转子两端，由欧姆定律可知，交流电压有效值与交流电流有效值的比值即为被测交流阻抗幅值。

$$|Z| = \frac{U_{RMS}}{I_{RMS}}$$

式中： $|Z|$ ——被测发电机交流阻抗幅值，(Ω)；

$U_{RMS}$ ——被测发电机转子两端电压有效值，(V)；

$I_{RMS}$ ——流经发电机转子的电流有效值，(A)。

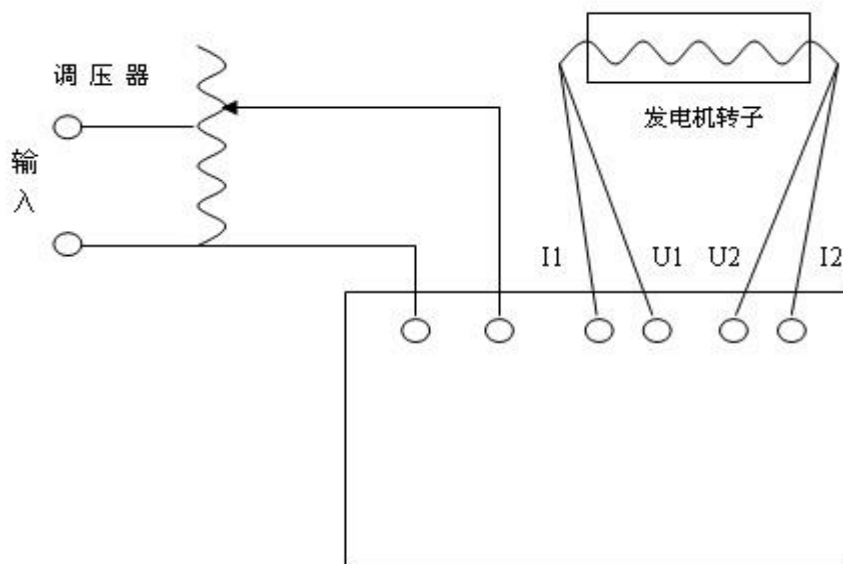


图 1 基本原理

### 5 计量特性

测试仪的交流电压、交流电流、有功功率、交流阻抗、频率的测量范围和最大允许误差如表1：



表1 计量特性

序号	项目名称	测量范围	最大允许误差
1	交流电压	(0.01~600) V	±0.2%
2	交流电流	(0.01~120) A	±0.2%
3	功率	(0.01~72) kW	±0.5%
4	频率	(45~75) Hz	±0.2%
5	交流阻抗	(0.001~1000) Ω	±0.2%

注：以上指标不做合格判定依据，仅供校准及不确定度评定时参考。具体技术指标参照被校发电机交流阻抗测试仪的技术指标规定。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

环境温度：20 °C ± 5 °C；

环境相对湿度：≤75%；

交流供电电压：220 V ± 22 V；

电源频率：50 Hz ± 0.5 Hz；

注意防潮、防尘、防电磁干扰，注意环境周围无影响仪器正常工作的机械振动及其他影响量。

### 6.2 测量标准及其他设备

标准设备的测量结果扩展不确定度( $k=2$ )应小于测试仪最大允许误差绝对值的1/3，分辨力应小于测试仪最大允许误差绝对值的1/5。测量范围应覆盖测试仪各功能的输出范围。标准源30s内稳定性和调节细度应小于被校测试仪最大允许误差绝对值的1/10。

测量标准见表2。

表2 校准参数及测量标准器

校准参数	标准源法	标准表法
交流电压示值误差	标准电压源	交流电源、标准电压表
交流电流示值误差	标准电流源	交流电源、标准电流表
功率示值误差	标准功率源	交流电源、标准功率表

频率示值误差	标准功率源	变频电源、标准频率表
交流阻抗示值误差	阻抗标准设备	交流电源、标准电压表、标准电流表

注：除上表规定的标准设备外，也可使用其他符合上述要求的计量器具作为标准设备。

## 7 校准方法

### 7.1 校准项目

测试仪校准项目见表3，可根据被校仪器的预期用途，选择其中的校准项目。

表3 校准项目一览表

序号	项目名称	计量特性条款	校准方法条款
1	外观及通电检查	5	7.2
2	交流电压示值误差	5	7.3
3	交流电流示值误差	5	7.4
4	功率示值误差	5	7.5
5	频率示值误差	5	7.6
6	交流阻抗示值误差	5	7.7

### 7.2 外观及通电检查

测试仪应外观完好，无影响正常工作的机械损伤；

仪器名称、型号、出厂编号、生产单位或商标、生产日期、供电电源电压及频率、各接线柱及输入输出端口应标识清晰；

通电后被检仪器应能正常工作，各开关和按键应能正常工作，各种设置指示应正确，各种通讯接口应功能正常。

### 7.3 交流电压

通常选取50Hz作为校准频率点，在测量范围内按满量程的20%、40%、60%、80%、100%均匀选取5个电压校准点，对测量仪的电压示值误差进行校准。

#### 7.3.1 标准源法

a) 接线如图2所示电压部分。

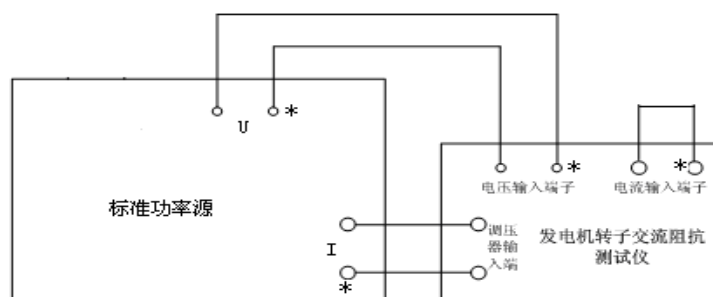


图 2

b) 调节标准源电压输出至校准点  $U_N$ , 被校测试仪电压显示值为  $U_x$ , 则被校测试仪电

压的示值误差  $\Delta_U$  为:  $\Delta_U = U_x - U_N$  (1)

相对误差  $\gamma_U$  为:  $\gamma_U = \frac{U_x - U_N}{U_N} \times 100\%$  (2)

式中:  $\Delta_U$ —被校测试仪交流电压示值误差, V;

$U_x$ —被校测试仪交流电压显示值, V;

$U_N$ —交流电压标准值, V;

$\gamma_U$ —被校测试仪交流电压相对误差, %。

### 7.3.2 标准表法

a) 接线如图3所示的电压部分。

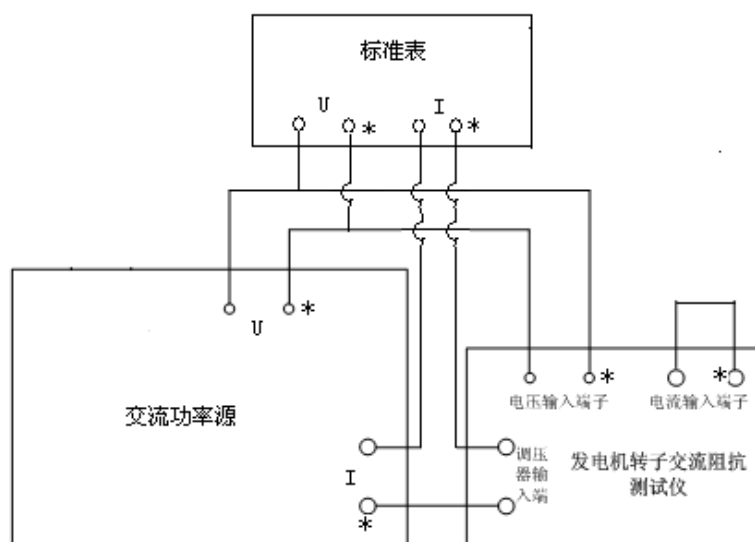


图 3

b) 调节交流功率源的电压输出至校准点, 标准电压表的显示值为  $U_N$ , 被校测试仪显示值为  $U_x$ , 则被校测试仪电压的示值误差按式 (1) 计算, 相对误差按式 (2) 计算。

### 7.4 交流电流

通常选取 50Hz 作为校准频率点，在测量范围内按满量程的 20%均匀选取 5 个电流校准点，对测量仪的电流示值误差进行校准。

#### 7.4.1 标准源法

a) 接线如图 2 所示电流部分（被校测试仪电流输入端子短接）。

b) 调节标准源电流输出至校准点  $I_N$ ，被校测试仪电流显示值为  $I_x$ ，则被校测试仪电流的示值误差  $\Delta_I$  为：

$$\Delta_I = I_x - I_N \quad (3)$$

相对误差  $\gamma_I$  为：

$$\gamma_I = \frac{I_x - I_N}{I_N} \times 100\% \quad (4)$$

式中： $\Delta_I$ —被校测试仪交流电流示值误差，A；

$I_x$ —被校测试仪交流电流显示值，A；

$I_N$ —交流电流标准值，A；

$\gamma_I$ —被校测试仪交流电流相对误差，%。

#### 7.4.2 标准表法

a) 接线如图 3 所示电流部分（被校测试仪电流输入端子短接）。

b) 参照电压校准中的标准表法进行电流校准，被测测试仪的电流的示值误差按式（3）计算，相对误差按式（4）计算。

### 7.5 功率

通常选取 50Hz 作为校准频率点，电压选择常用点（220V 或 57.7V）作为基本量程，在电压基本量程下，电流在测量范围按满量程的 20%、40%、60%、80%、100%均匀选取 5 个点进行功率示值误差的校准；在电压非基本量程下电流可选择任意一个或几个点校准。功率因数选择 1.0、0.5L（感性）2 个值，其中 0.5L 的功率因数仅在电流量程的某一个点进行校准。

#### 7.5.1 标准源法

a) 接线如图 2 所示

b) 调节标准源的输出电压至额定值点  $U_N$ ，设定功率因数  $\cos \varphi_N$ ，调节标准源的输

出电流  $I_N$ ，使输出功率至校准点  $P_N$ ，被校测试仪功率显示值为  $P_x$ ，则被校测试功率的示值误差  $\Delta_p$  为：

$$\Delta_p = P_x - P_N \quad (5)$$

相对误差  $\gamma_p$  为：

$$\gamma_p = \frac{P_x - P_N}{P_N} \times 100\% \quad (6)$$

式中： $\Delta_p$ —被校测试仪功率示值误差，W；

$P_x$ —被校测试仪功率显示值，W；

$P_N$ —功率标准值，W；

$\gamma_p$ —被校测试仪功率相对误差，%。

### 7.5.2 标准表法

a) 接线如图 3 所示

b) 调节交流电源输出电压使标准功率表电压显示额定值  $U_N$ ，并设置功率因数使标准功率表显示值为  $\cos \varphi_N$ ，调节交流电源的输出电流，使功率输出至校准点，标准功率表功率显示值为  $P_N$ ，被校测试仪功率显示值为  $P_x$ ，则被校测试功率的示值误差按式 (5) 计算，相对误差按 (6) 计算。

## 7.6 频率

校准时电压选择常用点（220V 或 57.7V），在频率测量范围内均匀选取不少于 3 个频率校准点。

### 7.6.1 标准源法

a) 接线如图 2 所示电压部分

b) 设置标准源的输出电压至选定值，调节标准源的输出频率至校准点为  $f_N$ ，被校测试仪频率显示值为  $f_x$ ，则被校测试仪频率的示值误差  $\Delta_f$  为：

$$\Delta_f = f_x - f_N \quad (7)$$

相对误差  $\gamma_f$  为：

$$\gamma_f = \frac{f_x - f_N}{f_N} \times 100\% \quad (8)$$

式中： $\Delta_f$ —被校测试仪频率示值误差，Hz；

$f_x$ —被校测试仪频率显示值，Hz；

$f_N$ —频率标准值，Hz；

$\gamma_f$ —被校测试仪频率相对误差，%。

## 7.6.2 标准表法

a) 接线如图 3 所示电压部分。

b) 参照电压校准中的标准表法进行频率校准，被校测试仪的频率示值误差按式 (7) 计算，相对误差按式 (8) 计算。

## 7.7 交流阻抗

### 7.7.1 标准源法

在测量范围内按满量程的 20%、40%、60%、80%、100% 均匀选取 5 个阻抗校准点，对测试仪的阻抗示值误差进行校准。

a) 接线如图 2 所示

b) 调节标准源的输出电压至额定值点  $U_N$  电压选择常用点 (150V 或 220V)，设定功率因数  $\cos \varphi_N$ ，调节标准源的输出电流  $I_N$ ，根据公式  $Z_N = \frac{U_N}{I_N}$ ，得到输出阻抗  $Z_N$ ，

被校测试仪显示值为  $Z_x$ ，则被校测试阻抗的示值误差  $\Delta_Z$  为：

$$\Delta_Z = Z_x - Z_N \quad (9)$$

相对误差  $\gamma_Z$  为：

$$\gamma_Z = \frac{Z_x - Z_N}{Z_N} \times 100\% \quad (10)$$

式中： $\Delta_Z$ —被校测试仪阻抗示值误差， $\Omega$ ；

$Z_x$ —被校测试仪阻抗显示值， $\Omega$ ；

$Z_N$ —阻抗标准值， $\Omega$ ；

### 7.7.2 标准表法

a) 接线如图 3 所示

b) 调节交流电源输出电压使标准功率表电压显示额定值  $U_N$ ，调节交流电源的输

出电流值，使标准功率表显示电流  $I_N$ ，根据公式  $Z_N = \frac{U_N}{I_N}$  使阻抗输出至校准点，标准

阻抗值为  $Z_N$ ，被校测试仪阻抗显示值为  $Z_x$ ，则被校测试仪阻抗的示值误差按式 (9) 计算，相对误差按 (10) 计算。

## 8 校准结果

### 8.1 校准记录

校准记录应尽可能详尽地记载测量数据和计算结果，记录格式见附录 A。

### 8.2 校准证书

校准证书由封面和校准数据组成，经校准的仪器应出具校准证书，校准证书应包括的信息及推荐的校准证书内页格式见附录 B。

当客户要求时，可以根据计量特性进行符合性判定，并将结论列入校准证书。进行符合性判定应考虑测量不确定度见附录 C。

## 9 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

## 发电机转子交流阻抗测试仪校准原始记录格式

委托单位\_\_\_\_\_列入证书号\_\_\_\_\_

仪器名称\_\_\_\_\_ 型号 \_\_\_\_\_ 出厂编号\_\_\_\_\_

准确度等级\_\_\_\_\_ 测量范围 \_\_\_\_\_

	实际值	显示值	测量结果 不确定度		实际值	显示值	测量结果 不确定度
电压 量程				阻抗 量程			
电流 量程				功率 量程			
频率 量程							

生产厂家\_\_\_\_\_

校准技术依据 \_\_\_\_\_

标准仪器：\_\_\_\_\_ 型号/规格：\_\_\_\_\_ 编号\_\_\_\_\_

测量范围 \_\_\_\_\_ 不确定度/准确度 \_\_\_\_\_ 证书编号\_\_\_\_\_

有效日期 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日 温度 \_\_\_\_\_ °C 湿度 \_\_\_\_\_ %RH



## 附录 B

### 校准证书的内容

B.1 校准证书至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- d) 校准证书编号，页码及总页数的标识；
- e) 校准单位校准专用章；
- f) 送校单位的名称和地址；
- g) 被校仪器的描述和明确标识：仪器的制造单位、名称、型号及出厂编号；
- h) 校准日期；
- i) 校准所依据的技术规范的名称及代号；
- j) 本次校准所用的主要计量标准器具（包括标准物质）的名称、测量范围、不确定度或准确度等级或最大允许误差、证书编号及有效期；
- k) 校准时的环境温度、相对湿度；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 校准人与核验人的签名；
- n) 校准证书批准人的签名与职务；
- 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，不得部分复制证书的声明。

	实际值	显示值	测量结果 不确定度		实际值	显示值	测量结果 不确定度
电压 量程				阻抗 量程			
电流 量程				功率 量程			
频率 量程							

B.2 校准证书（内页）格式。

- 一、外观检查：
- 二、示值误差的测量结果：

校准内容结束

## 附录 C

### 发电机转子交流阻抗测试仪电压测量结果不确定度评定

#### 1 概述

- 1.1 测量依据: JJF XXX-XXX 《发电机转子交流阻抗测试仪校准规范》。
- 1.2 环境条件: 温度  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度  $\leq 80\%$ 。
- 1.3 测量标准: 发电机转子交流阻抗测试仪校验装置, 型 JZJY-1, 规格: (1~500) V。准确度: 0.1 级。
- 1.4 被测对象: 发电机转子交流阻抗测试仪, 型号: GD-603。
- 1.5 测量过程: 将发电机交流阻抗测试仪设置空载, 调节 JZJY-1 发电机转子交流阻抗测试仪校验装置, 得到电压值的测量结果与标称值比较。
- 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 ACV100V 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。

#### 2 测量模型

##### 2.1 测量模型

$$V = V_x + \delta V_s$$

式中:  $V$ —发电机交流阻抗测试仪的测量结果, V;

$V_x$ —标准值, V;

$\delta V_s$ —标准装置不准对测量结果的影响, V。

##### 2.2 灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial V}{\partial V_x} = 1, c_2 = \frac{\partial V}{\partial \delta V_s} = 1$$

##### 2.3 不确定度传播律

因各输入量彼此独立不相关，所以

$$u_c(V) = \sqrt{u^2(V_x) + u^2(\delta V_s)}$$

### 3 全部输入量的标准不确定度评定

#### 3.1 输入量 $V_x$ 的标准不确定度分量 $u(V_x)$ 的评定

标准不确定度分量  $u(V_x)$  主要由被测发电机交流阻抗测试仪的测量重复性引起，

采用 A 类方法评定。标准装置输出 100V 点，在重复性条件下连续独立测量 10 次，获得 1 组测得值 (V)：

100.05, 100.09, 100.16, 100.12, 100.08, 100.07, 100.10, 100.13, 100.04, 100.06

$$\bar{V} = 100.0790 \text{ (V)}$$

单次实验标准差

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{x_i} - \bar{V}_x)^2}{n-1}} = 0.0307 \text{ (V)}$$

#### 3.2 输入量 $\delta V_s$ 的标准不确定度分量 $u(\delta V_s)$ 的评定

标准装置电压档准确度等级为 0.1 级，则最大允许误差： $\pm (0.001 \times 100) \text{ V}$ 。

输出 100V 时为  $\pm (0.001 \times 100) \text{ V} = \pm 0.1 \text{ V}$ ，则半宽度  $a=0.1 \text{ V}$ ，在区间内可认为服从均匀分布，包含因子  $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u(\delta V_s) = a/k = 0.1 \text{ V} / \sqrt{3} = 0.0577 \text{ V}$$

各个不确定度分量的汇总见表 1。

表 1 不确定度分量汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	概率分布	$c_i$	$ c_i u(x_i)$
$u(V_x)$	被测测试仪测量重复性	0.0307V	正态分布	1	0.0307V
$u(\delta V_s)$	标准装置	0.0577V	均匀分布	1	0.0577V

### 4 合成标准不确定度的评定

由 2.3 条，可得合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u^2(V_x) + u^2(\delta V_s)} = 0.0654 \text{ V}$$

## 5 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为

$$U=ku_c(V)=2\times 0.0654V\approx 0.13V$$

其相对扩展不确定度为

$$U_{\text{rel}}=0.13\% , k=2$$

## 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，对量程区间的其他测量点进行不确定度评定，得到结果见表 2。

表 2 常用检定/校准点的测量不确定度计算结果

测量点 (V)	不确定度分量 (V)		$u_c(V)$ (V)	$U(V)$ ( $k=2$ )	$U_{\text{rel}}(\%)$ ( $k=2$ )
	$u(V_x)$	$u(\delta V_s)$			
10	0.0148	0.0058	0.016	0.03	0.32
50	0.0194	0.0289	0.035	0.07	0.14
500	0.0514	0.2887	0.293	0.59	0.12

## 7 校准和测量能力 (CMC)

取一台稳定性很好的发电机转子交流阻抗测试仪，用相同方法可得校准测量能力如下表：

测量点 (V)	不确定度分量 (V)		$u_c(V)$ (V)	$U(V)$ ( $k=2$ )	$U_{\text{rel}}(\%)$ ( $k=2$ )
	$u(V_x)$	$u(\delta V_s)$			
10	0.0095	0.0058	0.011	0.02	0.22
100	0.0126	0.0577	0.059	0.12	0.12
50	0.0063	0.0289	0.030	0.06	0.12
500	0.0298	0.2887	0.290	0.58	0.12

## 发电机转子交流阻抗测试仪电流测量结果不确定度评定

### 1 概述

- 1.1 测量依据：JJF XXX-XXX 《发电机转子交流阻抗测试仪校准规范》。
- 1.2 环境条件：温度  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度  $\leq 80\%$ 。
- 1.3 测量标准：发电机转子交流阻抗测试仪校验装置，型 JZJY-1，规格：（1~500）V。准确度：0.1 级。
- 1.4 被测对象：发电机转子交流阻抗测试仪，型号：GD-603。
- 1.5 测量过程：将发电机交流阻抗测试仪设置空载，调节 JZJY-1 发电机转子交流阻抗测试仪校验装置，得到电流值的测量结果与标称值比较。
- 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 ACI5A 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。

### 2 测量模型

#### 2.1 测量模型

$$I = I_x + \delta I_s$$

式中： $I$ —发电机交流阻抗测试仪的测量结果，A；

$I_x$  - 标准值，A；

$\delta I_s$  - 标准装置不准对测量结果的影响，A。

#### 2.2 灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial I}{\partial I_x} = 1, c_2 = \frac{\partial I}{\partial \delta I_s} = 1$$

#### 2.3 不确定度传播律

因各输入量彼此独立不相关，所以

$$u_c(I) = \sqrt{u^2(I_x) + u^2(\delta I_s)}$$

### 3 全部输入量的标准不确定度评定

#### 3.1 输入量 $I_x$ 的标准不确定度分量 $u(I_x)$ 的评定

标准不确定度分量  $u(I_x)$  主要由被测发电机交流阻抗测试仪的测量重复性引起，采用 A 类方法评定。标准装置输出 5A 点，在重复性条件下连续独立测量 10 次，获得 1 组测得值 (A)：

5.02, 5.01, 5.02, 5.04, 5.04, 5.06, 5.01, 5.03, 5.02, 5.01

$$\bar{I} = 5.0260 \text{ (A)}$$

单次实验标准差

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{x_i} - \bar{I})^2}{n-1}} = 0.0165 \text{ (A)}$$

#### 3.2 输入量 $\delta I_s$ 的标准不确定度分量 $u(\delta I_s)$ 的评定

标准装置电流档准确度等级为 0.1 级，则最大允许误差： $\pm (0.001 \times 5) \text{ A}$ 。输出 5A 时为  $\pm (0.001 \times 5) \text{ A} = \pm 0.005 \text{ A}$ ，则半宽度  $a = 0.005 \text{ A}$ ，在区间内可认为服从均匀分布，包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u(\delta I_s) = a/k = 0.005 \text{ A} / \sqrt{3} = 0.0029 \text{ A}$$

各个不确定度分量的汇总见表 1。

表 1 不确定度分量汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	概率分布	$c_i$	$ c_i u(x_i)$
$u(I_x)$	被测测试仪测量重复性	0.0165A	正态分布	1	0.0165A
$u(\delta I_s)$	标准装置	0.0029A	均匀分布	1	0.0029A

### 4 合成标准不确定度的评定

由 2.3 条，可得合成标准不确定度为

$$u_c(I) = \sqrt{u^2(I_x) + u^2(\delta I_s)} = 0.167 \text{ A}$$

## 5 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为

$$U=ku_c(I)=2\times 0.167\text{A}\approx 0.03\text{A}$$

其相对扩展不确定度为

$$U_{\text{rel}}=0.67\%, k=2$$

## 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，对量程区间的其他测量点进行不确定度评定，得到结果见表 2。

表 2 常用检定/校准点的测量不确定度计算结果

测量点 (A)	不确定度分量 (A)		$u_c(I)$ (A)	$U$ (A) ( $k=2$ )	$U_{\text{rel}}$ ( $k=2$ )
	$u(I_x)$	$u(\Delta I_s)$			
10	0.0149	0.0058	0.016	0.03	0.32
50	0.0297	0.0289	0.041	0.08	0.17
100	0.0691	0.0577	0.090	0.18	0.18

## 7 校准和测量能力 (CMC)

取一台稳定性很好的发电机转子交流阻抗测试仪，用相同方法可得校准测量能力如下表：

测量点 (A)	不确定度分量 (A)		$u_c(I)$ (A)	$U$ (A) ( $k=2$ )	$U_{\text{rel}}$ (%) ( $k=2$ )
	$u(I_x)$	$u(\Delta I_s)$			
5	0.0063	0.0029	0.007	0.01	0.28
10	0.0047	0.0058	0.007	0.01	0.15
50	0.0097	0.0289	0.030	0.06	0.12
100	0.0378	0.0577	0.069	0.14	0.14



## 发电机转子交流阻抗测试仪电阻测量结果不确定度评定

### 1 概述

- 1.1 测量依据: JJF XXX-XXX 《发电机转子交流阻抗测试仪校准规范》。
- 1.2 环境条件: 温度  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度  $\leq 80\%$ 。
- 1.3 测量标准: 发电机转子交流阻抗测试仪校验装置, 型 JZJY-1, 规格: (1~500) V。准确度: 0.05 级。
- 1.4 被测对象: 发电机转子交流阻抗测试仪, 型号: GD-603。
- 1.5 测量过程: 将发电机交流阻抗测试仪设置空载, 调节 JZJY-1 发电机转子交流阻抗测试仪校验装置, 得到电阻值的测量结果与标称值比较。
- 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 0HM100  $\Omega$  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。

### 2 测量模型

#### 2.1 测量模型

$$R = R_x + \delta R_s$$

式中:  $R$ —发电机交流阻抗测试仪的测量结果,  $\Omega$ ;

$R_x$ —标准值,  $\Omega$ ;

$\delta R_s$ —标准装置不准对测量结果的影响,  $\Omega$ 。

#### 2.2 灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial R}{\partial R_x} = 1, c_2 = \frac{\partial R}{\partial \delta R_s} = 1$$

#### 2.3 不确定度传播律

因各输入量彼此独立不相关, 所以

$$u_c(R) = \sqrt{u^2(R_x) + u^2(\delta R_s)}$$

### 3 全部输入量的标准不确定度评定

#### 3.1 输入量 $R_x$ 的标准不确定度分量 $u(R_x)$ 的评定

标准不确定度分量  $u(R_x)$  主要由被测发电机交流阻抗测试仪的测量重复性引起，采用 A 类方法评定。标准装置输出 100  $\Omega$  点，在重复性条件下连续独立测量 10 次，获得 1 组测得值 ( $\Omega$ ):

100.034, 100.026, 100.038, 100.058, 100.064, 100.026, 100.054, 100.037, 100.048, 100.046, 100.042

$$\bar{R} = 100.0425 \text{ (}\Omega\text{)}$$

单次实验标准差

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{x_i} - \bar{R}_x)^2}{n-1}} = 0.0130 \text{ (}\Omega\text{)}$$

#### 3.2 输入量 $\delta R_s$ 的标准不确定度分量 $u(\delta R_s)$ 的评定

标准装置电流档准确度等级为 0.05 级，则最大允许误差： $\pm(0.0005 \times 100)$  A。输出 100  $\Omega$  时为  $\pm(0.0005 \times 100)$   $\Omega$ ，则半宽度  $a=0.05$   $\Omega$ ，在区间内可认为服从均匀分布，包含因子  $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u(\delta R_s) = a/k = 0.05 \text{ }\Omega / \sqrt{3} = 0.029 \text{ }\Omega$$

各个不确定度分量的汇总见表 1。

表 1 不确定度分量汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	概率分布	$c_i$	$ c_i u(x_i)$
$u(R_x)$	被测测试仪测量重复性	0.0130 $\Omega$	正态分布	1	0.0130 $\Omega$
$u(\delta R_s)$	标准装置	0.029 $\Omega$	均匀分布	1	0.029 $\Omega$

### 4 合成标准不确定度的评定

由 2.3 条，可得合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u^2(R_x) + u^2(\delta R_s)} = 0.032 \Omega$$

## 5 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为

$$U = k u_c(R) = 2 \times 0.032 \Omega \approx 0.06 \Omega$$

其相对扩展不确定度为

$$U_{\text{rel}} = 0.06\% , k=2$$

## 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，对量程区间的其他测量点进行不确定度评定，得到结果见表 2。

表 2 常用检定/校准点的测量不确定度计算结果

测量点 (Ω)	不确定度分量 (Ω)		$u_c(R)$ (Ω)	$U$ (Ω) ( $k=2$ )	$U_{\text{rel}}$ ( $k=2$ )
	$u(R_x)$	$u(\delta R_s)$			
20	0.0062	0.0058	0.009	0.017	0.08
40	0.0071	0.0115	0.014	0.027	0.07
60	0.0074	0.0173	0.019	0.038	0.06
80	0.0126	0.0231	0.026	0.053	0.07

## 7 校准和测量能力 (CMC)

取一台稳定性很好的发电机转子交流阻抗测试仪，用相同方法可得校准测量能力如下表：

测量点 (Ω)	不确定度分量 (Ω)		$u_c(R)$ (Ω)	$U$ (Ω) ( $k=2$ )	$U_{\text{rel}}$ ( $k=2$ )
	$u(R_x)$	$u(\delta R_s)$			
20	0.0020	0.0058	0.006	0.012	0.06
40	0.0048	0.0115	0.012	0.025	0.06
60	0.0065	0.0173	0.019	0.037	0.06
80	0.0136	0.0231	0.027	0.054	0.07
100	0.0043	0.0289	0.029	0.058	0.06

# 国家计量校准规范

## 发电机转子交流阻抗测试仪校准规范

JJF××××—××××

国家市场监督管理总局发布