



中华人民共和国工业和信息化部
机械计量技术规范

JJF（机械） XXXX—2023

变压器消磁检测仪校准规范

Calibration Specifications for Transformer Degaussing Instrument

（报批稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

变压器消磁检测仪校准规范

Calibration Specifications for
Transformer Degaussing Instrument

JJF（机械）xxxx—2023

归口单位：中国机械工业联合会

主要起草单位：许昌开瑞自动化仪器设备检测有限公司

参加起草单位：国网甘肃电力科学研究院

国网江苏电力科学研究院

保定市暄威电力设备科技有限公司

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：

张俊山（许昌开瑞自动化仪器设备检测有限公司）

赵俊芳（许昌开瑞自动化仪器设备检测有限公司）

参加起草人：

崔力心（国网甘肃电力科学研究院）

宋亮亮（国网江苏电力科学研究院）

郑东浩（国网江苏电力科学研究院）

王永强（保定市暄威电力设备科技有限公司）

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 消磁电流	(2)
5.2 剩磁率	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准及其它设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(2)
7.1 校准项目	(2)
7.2 校准方法	(3)
8 校准结果表达	(4)
9 复校时间间隔	(5)
附录 A 校准结果测量不确定度评定示例	(8)
附录 B 校准原始记录格式	(12)
附录 C 校准证书内页格式	(13)

引 言

本规范依据 JJF1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》、JJF1001—2011《通用计量术语及定义》中的要求进行编写。

本规范为首次发布。

变压器消磁检测仪校准规范

1 范围

本规范适用于新制造、使用中以及修理后电流小于 10A、剩磁率 90%及以下的变压器消磁检测仪的校准，变压器消磁系统、变压器消磁机也可参照本规范。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

DL/T 596-2021 电力设备预防性试验规程

GB/T 27743-2011 变压器专用设备检测方法

DL/T 572-2021 电力变压器运行规程

DL/T 573-2021 电力变压器检修导则

DL/T2225-2021 电力变压器直流去磁试验导则

JB/T501-2021 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

下列术语和定义适用于本规范

3.1 剩磁

剩磁（remanence）符号为 B_r ，是指磁化过的物体不再受外部磁场影响时保留的磁化强度。剩磁在国际单位制的单位为特斯拉（T），CGS 高斯单位制下的单位为高斯（G）， $1T = 10000G$ 。

3.2 消磁

消磁：磁化后的材料受到了外来能量的影响导致磁性减弱或消失的过程。

4 概述

变压器消磁检测仪是电力变压器直流电阻试验后消除剩磁的设备，对保护电力变压器免受励磁涌流冲击、安全投运以及延长变压器寿命有重要的作用。变压器消磁检测仪分为直流消磁法、交流消磁法。直流消磁法又称反向冲击法，是在变压器高压绕组两端正向，反向分别通入直流电流，缩小铁芯的磁滞回环，达到消磁的目的。交流消磁法是

向变压器注入对称的交流电，消除剩磁。

5 计量特性

5.1 消磁电流

消磁电流测量范围：0.05A～10A；

消磁电流准确度：±2%。

5.2 剩磁率

剩磁率测量范围：10%～90%；

剩磁率准确度：±2%。

注：以上条款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：(10～35)℃。

6.1.2 环境相对湿度：≤80%。

6.1.3 供电电源：电压(220±22)V，频率(50±1)Hz。

6.1.4 其他：周围无影响正常校准工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 测量标准及其它设备

6.2.1 变压器消磁检测仪校准装置

电流测量范围：0.01A～12A；

剩磁率测量范围：1%～100%；

校准装置准确度：±0.5%。

6.2.2 标准器的测量范围应覆盖被校变压器消磁检测仪的测量范围，并具有足够的分辨力和准确度。测量标准的扩展不确定度($k=2$)应不大于被校变压器消磁检测仪各参数最大允许误差绝对值的1/3。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

变压器消磁检测仪校准项目见表1

表 1 校准项目

序号	校准项目
1	外观及工作正常性检查
2	消磁电流
3	剩磁率

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

被校变压器消磁检测仪外观应完好，电源开关、功能设置开关和旋钮应灵活、可靠，输出端口牢固，标示清晰完整；无影响其正常工作的机械损伤。

7.2.2 消磁电流

消磁电流测量方法连接如图 1 所示。按说明书要求进行预热。

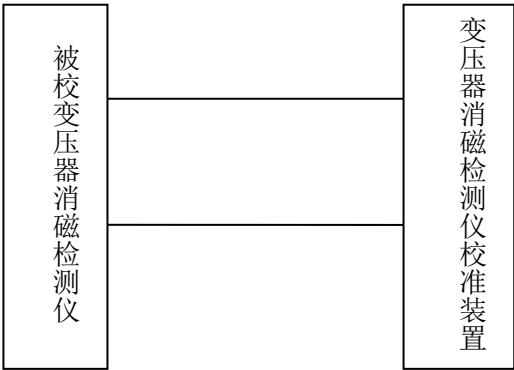


图 1 消磁电流校准方法接线图

设置被校变压器消磁检测仪输出电流值，启动输出开始校准。校准点在输出电流范围内均匀选择不少于 5 个点。也可以根据用户要求选择校准点。在校准装置上直接读出消磁电流的实际值。

被校变压器消磁检测仪输出电流示值误差按公式（1）计算。

$$\gamma_1 = \frac{I_x - I_s}{I_s} \times 100\% \tag{1}$$

式中：

γ_1 – 被校变压器消磁检测仪输出电流的相对误差，用百分号表示；

I_x – 被校变压器消磁检测仪设定输出电流值，A；

I_s – 校准装置读取的电流实测值，A。

7.2.3 剩磁率

变压器消磁检测仪校准装置与被校变压器消磁检测仪连接如图 2 所示。

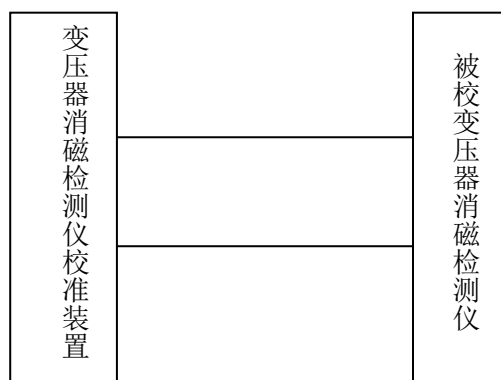


图 2 变压器剩磁率校准方法接线图

校准装置剩磁率的设置应先高逐渐到低校准点，然后再从低到高设置校准点。校准点的选择在 10%~90%之间均匀选择 5 点，也可以根据用户要求选择校准点，每个校准点从高到低和从低到高各测一次，取两者的平均值作为测量值。

按校准点设定校准装置输出标准剩磁率 B_s ，启动输出，记录被校变压器消磁检测仪测量值 B_x ，被校变压器消磁检测仪的示值误差按公式（4）计算：

$$\Delta B = B_x - B_s \quad (3)$$

式中：

ΔB – 被校变压器消磁检测仪剩磁率示值误差；

B_x – 被校变压器消磁检测仪测量值；

B_s – 校准装置设定的标准剩磁率值。

8 校准结果表达

变压器消磁检测仪校准后，出具校准证书。校准证书应至少包含以下信息：

- 标题：“校准证书”；
- 实验室名称和地址；
- 校准的地点；

- 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) 客户的名称和地址；
- f) 被校准对象的描述和明确标识；
- g) 校准的日期和接收日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称和代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及测量不确定度的说明；
- l) 校准人员、核验人员、校准证书签发人员的签名；
- m) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- n) 未经试验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 12 个月。送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

校准结果测量不确定度评定示例

A.1 变压器消磁检测仪输出电流校准结果的测量不确定度评定

A.1.1 概述

环境条件：温度：23.5℃，相对湿度：45%；

测量标准：变压器消磁检测仪校准装置；

被测对象：变压器消磁检测仪；

测量方法：将变压器消磁检测仪与测量标准相连接，设置变压器消磁检测仪输出电流 5A，记录变压器消磁检测仪校准装置测得的消磁电流实际值 I_s 。

A.1.2 测量模型

测量模型见公式 (A.1)

$$\Delta = I_x - I_s \quad (\text{A.1})$$

考虑到校准装置的有限分辨力、校准装置随时间的漂移对测量结果的影响，测量模型成为：

$$\Delta = I_x - I_s - \delta I_{s1} - \delta I_{s2} \quad (\text{A.2})$$

式中：

Δ ——被校变压器消磁检测仪的电流示值误差，A；

I_x ——被校变压器消磁检测仪输出电流值，A；

I_s ——校准装置记录的消磁电流实际值，A；

δI_{s1} ——其他因素（如随时间的漂移）对校准装置电流值的影响，A；

δI_{s2} ——校准装置读数分辨力对测量结果的影响，A。

A.1.3 不确定度传播公式

由公式 (A.2) 可以导出不确定度的传播公式：

$$u_c^2(I) = c_1^2 u^2(I_x) + c_2^2 u^2(I_s) + c_3^2 u^2(\delta I_{s1}) + c_4^2 u^2(\delta I_{s2})$$

式中，灵敏度系数 $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial I_x} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial I_s} = -1$

$$c_3 = \frac{\partial \Delta}{\partial \delta I_{s1}} = -1, c_4 = \frac{\partial \Delta}{\partial \delta I_{s2}} = -1$$

A.1.4 标准不确定度分量的评定

A.1.4.1 由变压器消磁检测仪输出示值引入的标准不确定度分量 $u(I_x)$

被校变压器消磁检测仪输出显示值保持不变，故不引入不确定度分量，因此 $u(I_x) = 0$

A.1.4.2 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(I_s)$

将被校变压器消磁检测仪设置输出电流 5A，在相同环境条件下，重复测量 10 次，获得数据见表 A.1 所示。

表 A.1 重复性测量数据

测量次数	标准器实测值 (A)
1	5.002
2	4.985
3	4.989
4	4.985
5	4.986
6	4.990
7	5.002
8	5.003
9	4.979
10	4.985

测量结果的平均值：
$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} = 4.991 \text{ A}$$

单次测量标准偏差：
$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} = 8.6 \times 10^{-3} \text{ A}$$

取单次测量值为测量结果，因此，标准不确定度为：

$$u(I_s) = s_i = 8.6 \times 10^{-3} \text{ A}$$

A.1.4.3 其他因素对校准装置电流值的影响引入的标准不确定度分量 $u(\delta I_{s1})$

在规定的测量条件下，由其他因素对校准装置测量电流值的影响应该在校准装置最大允许误差的范围内。校准装置经上级计量机构量值传递合格，使用说明书中技术指标给出 5A 点最大允许误差为： $\pm 0.5\% \times 5A = \pm 0.025A$ ，其半宽度 $a=0.025A$ ，在区间内认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(\delta I_{s1}) = \frac{a}{k} = \frac{0.025A}{\sqrt{3}} = 1.5 \times 10^{-2} A$$

A.1.4.4 校准装置读数分辨力引入的标准不确定度分量 $u(\delta I_{s2})$

变压器消磁检测仪校准装置在电流 5A 点的分辨力 0.001A，在 0.0005A 区间内为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(\delta I_{s2}) = \frac{0.0005A}{\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-4} A$$

A.1.5 标准不确定度分量汇总表（见表A.2）

表A.2 标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	标准不确定度 $u_i(x)$	灵敏系数 c_i	$ c_i u_i(x)$
变压器消磁检测仪输出示值 $u(I_x)$	0	1	0
测量重复性 $u(I_s)$	$8.6 \times 10^{-3} A$	-1	$8.6 \times 10^{-3} A$
其他因素对校准装置电流值的影响 $u(\delta I_{s1})$	$1.5 \times 10^{-2} A$	-1	$1.5 \times 10^{-2} A$
校准装置读数分辨力 $u(\delta I_{s2})$	$2.9 \times 10^{-4} A$	-1	$2.9 \times 10^{-4} A$

A.1.6 合成标准不确定度

由测量重复性引入的标准不确定度分量大于校准装置读数分辨力引入的标准不确定度分量，故不再考虑分辨力引入的标准不确定度分量，依照不确定度传播公式可得：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(I_x) + c_2^2 u^2(I_s) + c_3^2 u^2(\delta I_{s1})} \approx 0.017 A$$

A.1.7 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则扩展不确定度 $U = k \cdot u_c(\Delta) = 2 \times 0.017A = 0.034A$

A.2 变压器消磁检测仪剩磁率校准结果的测量不确定度评定

A.2.1 概述

环境条件：温度：23.5℃，相对湿度：45%；

测量标准：变压器消磁检测仪校准装置；

被测对象：变压器消磁检测仪；

测量方法：使用校准装置对变压器消磁检测仪的剩磁率测量进行校准，设置校准装置输出剩磁率 35%（消磁电流 5A），记录变压器消磁检测仪测得的剩磁率。

A.2.2 测量模型

测量模型见公式 (A.4)

$$\Delta = B_x - B_s \quad (\text{A.4})$$

考虑到被校变压器消磁检测仪的有限分辨力对测量结果的影响，测量模型成为：

$$\Delta = B_x - B_s + \delta B_x \quad (\text{A.5})$$

式中：

Δ ——被校变压器消磁检测仪的剩磁率示值误差，%；

B_x ——被校变压器消磁检测仪的示值，%；

B_s ——校准装置输出的标准值，%；

δB_x ——被校变压器消磁检测仪读数分辨力对测量结果的影响，%。

A.2.3 不确定度传播公式

由公式 (A.5) 可以导出不确定度的传播公式：

$$u_c^2(\Delta) = c_1^2 u^2(B_x) + c_2^2 u^2(B_s) + c_3^2 u^2(\delta B_x)$$

$$\text{式中，灵敏度系数 } c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial B_x} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial B_s} = -1, \quad c_3 = \frac{\partial \Delta}{\partial \delta B_x} = 1$$

A.2.4 标准不确定度分量的评定

A.2.4.1 变压器消磁检测仪测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(B_x)$

校准装置输出剩磁率 35%，在相同环境条件下，重复测量 10 次，获得数据见表 A.3

所示。

表 A.3 重复性测量数据

测量次数	测量值 (%)
1	35.1
2	35.1
3	35.2
4	35.3
5	35.2
6	35.2
7	35.3
8	35.3
9	35.1
10	35.2

测量结果的平均值：
$$\bar{B} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n} = 35.2\%$$

单次测量标准偏差：
$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_i - \bar{B})^2}{n-1}} = 0.082\%$$

实际测量取 2 次测量结果的平均值为测量结果，因此，标准不确定度为：

$$u(B_x) = s_i / \sqrt{2} = 0.058\%$$

A.2.4.2 校准装置引入的标准不确定度分量 $u(B_s)$

校准装置经上级计量机构量值传递合格，使用说明书中技术指标给出剩磁率 35% 点最大允许误差为： $\pm 0.5\% \times 35\% = \pm 0.18\%$ ，其半宽度 $a=0.18\%$ ，在区间内认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(B_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.18\%}{\sqrt{3}} = 0.10\%$$

A.2.4.3 被校变压器消磁检测仪读数分辨力引入的标准不确定度分量 $u(\delta B_x)$

变压器消磁检测仪在剩磁率 35% 点的分辨力为 0.1%，在 0.05% 区间内为均匀分布，包

含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(\delta B_x) = \frac{0.05\%}{\sqrt{3}} = 0.029\%$$

A.2.5 标准不确定度分量汇总表（见表A.4）

表A.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	标准不确定度 $u_i(x)$	灵敏系数 c_i	$ c_i u_i(x)$
测量重复性 $u(B_x)$	0.058%	1	0.058%
校准装置引入 $u(B_s)$	0.11%	-1	0.10%
被校变压器消磁检测仪的分辨力 $u(\delta B_x)$	0.029%	1	0.029%

A.2.6 合成标准不确定度

由测量重复性引入的标准不确定度分量大于被校消磁检测仪读数分辨力引入的标准不确定度分量，故不再考虑分辨力引入的标准不确定度分量，依照不确定度传播公式可得：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(B_x) + c_2^2 u^2(B_s)} \approx 0.12\%$$

A.2.7 扩展不确定度

$U = k \cdot u_c(\Delta)$ ，取包含因子 $k = 2$ ，由此得到校准结果的不确定度为：

$$U = 2 \times 0.12\% = 0.24\%$$

附录 B

校准原始记录格式

变压器消磁检测仪原始记录格式

委托单位：		校准记录编号：	
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：℃	湿度：%RH

校准用主要计量标准器具

名称	型号规格	出厂编号	测量范围	准确度等级/测量不确定度/最大允许误差	溯源机构及证书编号	有效期至

1 外观及工作正常性检查：

2 消磁电流

量程	被校仪器输出值	实测值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

3 剩磁率

标准输出值 (%)	被校仪器测量值 (%)		测量平均值 (%)	误差 (%)	扩展不确定度 ($k=2$)
	1	2			

校准人员： 核验人员： 校准日期： 年 月 日

第 页 共 页

附录 C

校准证书内页格式

证书编号 × × × × × × — × × × ×

<p>(校准机构授权说明)</p> <p>校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF1059.1 的要求。</p>				
<p>校准环境条件及地点：</p>				
温度	℃	地点		
相对湿度	%	其他		
<p>校准所依据的技术文件（代号、名称）：</p>				
<p>校准所使用的主要测量标准：</p>				
名称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

证书编号 × × × × × × - × × × ×

校准结果

1 消磁电流

量程	被校仪器输出值 (A)	实测值 (A)	扩展不确定度 $U_{rel}(k=2)$

2 剩磁率

标准输出值 (%)	仪器测量值 (%)	扩展不确定度 $U_{rel}(k=2)$

说明:

根据客户要求和校准文件的规定, 通常情况下 个月校准一次

声明:

- 1 仅对加盖 “× × × × × 校准专用章” 的完整证书负责。
- 2 本证书的校准结果仅对本次校准的计量器具有效。

校准员:

核验员: