9

**新疆维吾尔自治区地方计量技术规范**

**JJF（新）××－2023**

变压器用绕组温控器校准规范

Calibration Specification of Winding Temperature

 Indicator For Transformer

 （报审稿）

2023-XX-XX发布 2023-XX-XX实施

新疆维吾尔自治区市场监督管理局 发 布

变压器用绕组温控器

JJF（新）XX—2023

JJF（黑）XXX—2022

校准规范

Calibration Specification of Winding

Temperature Indicator for Transformer

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：哈密市质量与计量检测所

 参加起草单位：新疆维吾尔自治区计量测试研究院

 新疆心连心能源化工有限公司

本规范委托新疆维吾尔自治区热工计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

李 璐（哈密市质量与计量检测所）

张海华（哈密市质量与计量检测所）

甄兴虎（哈密市质量与计量检测所）

参加起草人：

李 娟（新疆维吾尔自治区计量测试研究院）

夏米西（新疆维吾尔自治区计量测试研究院）

朱亚琼（新疆维吾尔自治区计量测试研究院）

张新杰（新疆心连心能源化工有限公司）

目 录

[引 言 (II)](#_Toc30013)

[1 范围 (1)](#_Toc26432)

[2 引用文件 (1)](#_Toc1613)

[3 术语和计量单位 (1)](#_Toc11350)

[4 概述 (1)](#_Toc26676)

[4.1 用途 (1)](#_Toc14483)

[4.2 结构与原理 (1)](#_Toc30259)

[5 计量特性 (2)](#_Toc2448)

[5.1 示值误差 (2)](#_Toc8559)

[5.2 示值回差 (3)](#_Toc32736)

[5.3 接点动作误差 (3)](#_Toc24212)

[5.4 切换差 (3)](#_Toc20431)

[5.5 热模拟附加温升误差 (3)](#_Toc8647)

[5.6 热模拟时间常数 (3)](#_Toc4564)

[5.7 温度变送器输出误差 (3)](#_Toc19198)

[5.8 绝缘电阻 (3)](#_Toc4606)

[5.9 绝缘强度 (3)](#_Toc31286)

[6 校准条件 (3)](#_Toc3032)

[6.1 环境条件 (3)](#_Toc12871)

[6.2 标准器及配套设备 (3)](#_Toc15977)

[7 校准项目和校准方法 (4)](#_Toc10084)

[7.1 校准、检查项目 (4)](#_Toc24893)

[7.2 校准方法 (4)](#_Toc16009)

[8校准结果表达 (9)](#_Toc2705)

[9复校时间间隔 (9)](#_Toc11619)

[附录A-1变压器用绕组温控器示值误差、回差校准记录格式 (10)](#_Toc22561)

[附录A-2变压器用绕组温控器热模拟附加温升校准记录格式 (11)](#_Toc30508)

[附录B校准证书内页参考格式 (12)](#_Toc19863)

[附录C变压器用绕组温控器示值误差校准不确定度分析示例 (13)](#_Toc21868)

[附录D变压器用绕组温控器附加温升误差校准不确定度分析示例 (16)](#_Toc12676)

# 引 言

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》共同构成本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

变压器用绕组温控器校准规范

# 1 范围

本规范适用于变压器用绕组温控器（以下简称绕组温控器）在（-20～160）℃范围内计量性能的校准。变压器用油面温控器计量性能的校准也可参照本规范。

# 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 229-2010 工业铂、铜热电阻

JJF 1909-2021 压力式温度计

JJF 1183-2007 温度变送器

JJF 1632-2017 温度开关温度参数

JB/T 8450-2016 变压器用绕组温控器

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 变压器用绕组温控器 winding temperature indicator for transformer

变压器用绕组温控器是带有电气接点和远传信号装置，采用热模拟技术显示变压器绕组温度，并输出控制信号和远传信号的压力式仪表。

3.2 热模拟技术 heat simulate technique

在顶层油温$T\_{Y}$的基础上，叠加一个附加温升$T\_{∆}$而获得变压器绕组的平均温度（其中$T\_{∆}$是热模拟装置提供的温升）。

注：油浸式电力变压器的绕组温度$T\_{R}$可等效为$T\_{Y}$与$T\_{∆}$之和。

3.3 热模拟时间常数 thermal simulation time constant

当热模拟装置产生附加温升$T\_{∆}$时，其温度指示值变化量达到附加温升值$T\_{∆}$的63.2%时所需要的时间。

# 4 概述

4.1 用途

变压器用绕组温控器是专门用于测控油浸式变压器绕组温度的仪表。

4.2 结构与原理

绕组温控器主要由感温元件、弹性元件、指示仪表、变流器、电热元件、温度变送器、控制开关几部分组成，其中变流器一般分为A、B、C、D四个档位，每个档位对应不同的变压器电流互感器二次额定电流$I\_{p}$。绕组温控器测温示意图如图1所示。

 电流互感器

变流器

温度变送器

远方显示

电热元件

弹性元件

指示仪表

*ΙP*

 $I\_{s}$

变压器绕组

温包

图1 绕组温控器测温示意图

绕组温控器的工作原理：将感温元件的温包插在变压器油箱顶层的专用插孔内，当变压器顶层油温变化时，感温元件内的液体体积随之改变，通过毛细管的传递，使弹性元件产生相应位移。当变压器负荷为零时，绕组温控器指示的温度值是变压器的顶层油温。当变压器带负荷后，通过变压器电流互感器取出与负荷成正比的电流$I\_{p}$，$I\_{p}$经变流器调整为$I\_{s}$后，流经嵌装在波纹管内的电热元件，电热元件产生热量，该热量使弹性元件的位移量增大，增大的位移量经机械传动，推动指示仪表指针转动，使仪表指示值增加$T\_{∆}$,$T\_{∆}$近似等于变压器绕组对油的附加温升，绕组温控器指示的温度值是变压器顶层油温与绕组对油的附加温升之和。

附加温升$T\_{∆}$与电流$I\_{s}$的关系见表1。

表1 附加温升$T\_{∆}$与电流$I\_{s}$对应表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| $T\_{∆}$/℃ | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 |
| $I\_{s}$/mA | 740 | 800 | 860 | 920 | 980 | 1040 | 1090 | 1140 | 1190 | 1240 | 1280 | 1320 | 1360 | 1400 | 1440 |

# 5 计量特性

5.1 示值误差

绕组温控器示值最大允许误差与准确度等级及量程之间的关系，以公式（1）表示：

$$∆=\pm α\%FS （1）$$

式中： $∆$ —— 绕组温控器示值最大允许误差，℃；

$α$ —— 绕组温控器准确度等级；

$FS$ —— 绕组温控器量程，℃。

绕组温控器示值误差应不超过最大允许误差。

远传信号装置的示值（即绕组温控器所带远传信号装置所输出的量值换算成温度值或温度显示器示值）误差应不超过最大允许误差。

绕组温控器示值与远传信号装置示值的差值应不大于最大允许误差绝对值的1/2。

5.2 示值回差

绕组温控器示值回差应不超过最大允许误差的绝对值，℃。

5.3 接点动作误差

绕组温控器控制开关的接点动作误差应不超过最大允许误差的1.5倍。

5.4 切换差

绕组温控器控制开关的接点切换差应不超过5℃$\pm $3℃。也可以由用户根据需求自行定义。

5.5 热模拟附加温升误差

热模拟附加温升误差应不超过示值最大允许误差，℃。

5.6 热模拟时间常数

热模拟时间常数应不大于9min。

5.7 温度变送器输出误差

温度变送器输出误差换算为温度值应不超过绕组温控器示值最大允许误差的1/2℃。

注：以上指标不适用于合格性判定，仅供参考。

5.8 绝缘电阻

在规定的环境条件下，绕组温控器开关的接点与接地端子之间的电阻应不小于20MΩ。

5.9 绝缘强度

在规定的环境条件下，绕组温控器开关的接点与接地端子之间应能承受50Hz、2kv的正弦交流电压，历时1min。绕组温控器应无击穿或闪烁现象。

# 6 校准条件

6.1 环境条件

a) 温度：（23±5）℃，相对湿度：≤85%；

b) 周围应无强烈振动、强电磁场和其它干扰。

环境条件应同时满足标准设备使用的相关要求。

6.2 标准器及配套设备

标准器及配套设备的性能指标要求如表2所示。

表2 标准器及配套设备的性能指标

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 设备名称 | 技术性能指标 | 用途 |
| 1 | 标准水银温度计 | （-60～300）℃ | 标准器 |
| 2 | 标准铂电阻温度计 | 二等，（-196～660.323）℃ |
| 3 | 电测设备 | 准确度等级不低于0.02级，分辨力不低于1mΩ | 标准铂电阻温度计配套电测仪表 |
| 4 | 恒温槽 | 温度范围：（-10～150）℃ | 提供温度场 |
| 工作区域最大温差：≤0.1℃ |
| 温度波动度：≤0.1℃/10min |
| 在（20～150）℃，升、降温速率可控制在≤1.0℃/min |
| 5 | 可调交流恒流源 | 输出:（0～5）A | 热模拟特性试验 |
| 6 | 交流电流表 | A1，测量范围：（0～5）A，准确度等级：0.5级，最小分辨力：0.001A | 热模拟特性试验输入端电流测量 |
| A2，测量范围：（0～2）A，准确度等级：0.5级，最小分辨力：0.001A |
| 7 | 直流电流表 | 测量范围：（0～30）mA,0.01级～0.05级。 | 温度变送器输出测量 |
| 8 | 秒表 | 最小分辨力不大于1s | 热模拟时间常数测量 |
| 9 | 绝缘电阻表 | 额定电压500V,准确度等级：10级 | 绝缘电阻试验 |
| 10 | 高压试验台 | 高压侧电源功率≥2500VA | 绝缘强度试验 |
| 11 | 开关信号检测设备 | / | 开关动作信号采集及显示 |

# 7 校准项目和校准方法

7.1 校准、检查项目

7.1.1 检查项目：外观、绝缘电阻、绝缘强度

7.1.2 校准项目：示值误差、示值回差、接点动作误差、切换差、热模拟附加温升误差、热模拟时间常数、 温度变送器输出误差。

注：

1 根据被校温控器的功能和客户要求选择校准项目、检查项目。

2 热模拟附加温升误差、热模拟时间常数适用于绕组温控器的校准。

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

目测检查，温控器应符合以下要求：

7.2.1.1 温控器的外形结构应完好，各部件的保护层应牢固、均匀和清洁，不得有锈蚀和脱落现象；表头用的保护玻璃或其它透明材料应保持光洁透明，不得有妨碍读数的缺陷或损伤。

7.2.1.2 温控器表盘上的刻度、数字、符号和其它标识应清晰、完整、正确，指针应伸入标尺最短标度线的1/4～3/4内，其指针尖端宽度应不超过标度尺最短标度线宽度。

7.2.2 绝缘电阻

在规定的环境条件下，用满足要求的绝缘电阻表测量绕组温控器开关的接点与接地端子之间的绝缘电阻，应符合5.8的规定。

7.2.3 绝缘强度

在规定的环境条件下，绕组温控器开关的接点与接地端子之间应能承受50Hz、2kV的正弦交流电压，历时1min。绕组温控器应无击穿或闪烁现象。

7.2.4 示值误差校准

7.2.4.1 校准点的选择

一般应在整个测量范围均匀选择不少于四个点（包括上、下限）。也可根据用户要求选择校准点。

7.2.4.2 示值误差校准

校准应在正、反两个行程上分别向上限或下限方向逐点进行，除上限点和下限点只进行单程校准外，其他各点按正反行程各进行一次校准。

校准时，将标准温度计和绕组温控器温包插入恒温槽中，温包应全部浸没在恒温槽工作区域，绕组温控器表头应垂直放置，表头与温包之间的高度差应不大于1m；示值校准点不得与开关设定点重叠，二者间距不小于6℃。

将恒温槽设定到校准温度，待恒温槽示值稳定后10min开始读数，读数时恒温槽温度偏离校准点温度不超过±0.5℃（以标准温度计为准），记录标准温度计示值、被校准绕组温控器示值和信号远传装置示值，则

绕组温控器示值误差

$$∆t\_{w}=t\_{w} −t\_{b} （2）$$

远传信号装置示值误差

$$∆t\_{y}=t\_{y} −t\_{b} （3）$$

绕组温控器与远传信号装置偏差

$$ ∆t\_{p}=\left|t\_{w} −t\_{y}\right| （4）$$

式中：

$∆t\_{w}$ —— 绕组温控器示值误差，℃；

$∆t\_{y} $—— 远传信号装置示值误差，℃；

$∆t\_{p} $—— 绕组温控器与远传信号装置偏差，℃。

$t\_{w}$ —— 绕组温控器示值，℃；

$t\_{y} $—— 远传信号装置示值，℃；

$t\_{b}$ —— 标准器器示值，℃。

取正、反行程中$∆t\_{w}$、$∆t\_{y} $、$∆t\_{p} $绝对值较大者为该校准点的绕组温控器示值误差、远传信号装置示值误差、绕组温控器与远传信号装置偏差。

注：读取绕组温控器标度尺示值时，视线应垂直标度尺，读数应估读到最小分度值的1/10。

7.2.5 示值回差校准

与示值误差校准同时进行，在同一温度点（上、下限点除外）正、反行程示值误差之差的绝对值即为该温度点示值回差。

7.2.6 接点动作误差校准

7.2.6.1 校准点的选择

接点动作误差校准点应至少包括55℃和75℃。也可以与用户协商确定。

7.2.6.2 接点动作误差校准方法

与示值误差校准同时进行，将绕组温控器的接点指针调整到设定点温度，接点端子接到信号电路中，一般在恒温槽温度距校准点温度6℃时，以不大于1.0℃/min的速率缓慢均匀改变恒温槽温度，使接点产生闭合或断开的切换动作，动作瞬间读取标准温度计示值，即为接点上切换值（正行程）或下切换值（反行程），按公式（5）计算接点动作误差$∆t\_{d}$：

$∆t\_{d}= t\_{si} −S\_{v} （5）$

式中：

$∆t\_{d}$ —— 接点动作误差，℃；

$t\_{si} $—— 接点上切换值或接点下切换值,℃；

$S\_{v}$ —— 接点动作误差校准点，℃。

7.2.7 切换差校准

与接点动作误差校准同时进行，同一温度点正行程切换值与反行程切换值的差值即为切换差$∆t\_{q}$，按公式 （6）计算:

$$∆t\_{q}= \left|t\_{s1}−t\_{s2}\right| （6） $$

式中：

$∆t\_{q}$ —— 接点切换差，℃；

$t\_{s1} $—— 接点上切换值，℃；

$t\_{s2} $—— 接点下切换值，℃。

7.2.8 热模拟附加温升误差校准

将绕组温控器热模拟装置的变流器、电热元件与可调交流恒流源、交流电流表$A\_{1}$（通过电流表用$I\_{p}$表示）、交流电流表$A\_{2}$（通过电流用$I\_{s}$表示）按图2连接好。

A1

A2

（0.5～5）A

（0～2）A

可调交流恒流源

变流器

 电热元件

AC220V

图2 热模拟附加温升校准接线图

7.2.8.1 校准点的选择

附加温升$T\_{∆}$校准至少应包括10℃、24℃、38℃三个点。也可与用户协商确定。

7.2.8.2 附加温升误差校准方法

变流器档位选择：根据变压器电流互感器二次额定电流$I\_{p}$（由用户提供），选择相应的档位，将档位键按下。

将绕组温控器温包和标准温度计插入恒温槽，确保温包浸没深度不小于150mm,

将恒温槽温度控制在（80±1）℃内，稳定15min。记录绕组温控器指示值，然后调节交流恒流源电流$使A\_{2}$恒定在附加温升$T\_{∆}$对应的电流$I\_{s}$（见表1），待绕组温控器指示稳定后，记录其示值。

按公式（7）计算附加温升误差*Y* :

$$Y= t\_{Ri}−t\_{R}−T\_{∆} （7）$$

式中：

$Y$ —— 附加温升误差，℃；

$t\_{R} $—— 未加电流前绕组温控器温度示值，℃；

$t\_{Ri}$ —— 加电流后绕组温控器温度示值，℃；

$T\_{∆} $—— 热模拟标准温升，根据加热电流$I\_{s}$从表1中查得，℃。

7.2.9热模拟时间常数校准

7.2.9.1校准点的选择

校准点应至少包括附加温升为10℃、24℃、38℃三个点。也可与用户协商确定。

7.2.9.2 校准方法

与热模拟附加温升误差校准同时进行，调节交流恒流源电流使A2恒定在附加温升$T\_{∆}$对应的电流$I\_{s}$，同时开启秒表，当绕组温控器指示值变化量达到附加温升值$T\_{∆}$的63.2%时，记录秒表的指示值，即为该点的热模拟时间常数。

7.2.10 温度变送器输出误差校准

7.2.10.1 热模拟装置不带电流时温度变送器输出误差校准

变送器输出误差校准与绕组温控器示值误差校准同时进行，将直流数字电流表连接到温度变送器的输出端，记录恒温槽实际温度和温度变送器的输出值，按公式（8）计算温度变送器输出误差：

$$∆A\_{t}= A\_{d} −\left[\frac{A\_{m}}{t\_{m}}(t\_{s}−t\_{0})+A\_{0}\right] （8）$$

式中：

$∆A\_{t}$ —— 变送器的输出误差，mA或V；

$ A\_{d} $—— 变送器的输出值，mA或V；

$ A\_{m} $—— 变送器的输出量程，mA或V；

 $ t\_{m} $—— 变送器的输入量程，℃；

$ A\_{0} $—— 变送器输出的理论下限值，mA或V；

$ t\_{s} $—— 标准温度计测量的恒温槽实际值，℃；

$ t\_{0} $—— 变送器输入范围的下限值，℃。

7.2.10.2 热模拟装置带电流时温度变送器输出误差校准

与热模拟附加温升误差校准同时进行，按公式（9）计算温度变送器输出误差：

$$∆A\_{ti}= A\_{di} −\left[\frac{A\_{m}}{t\_{m}}(t\_{s}+∆T−t\_{0})+A\_{0}\right] （9）$$

式中：

$∆A\_{ti}$ —— 热模拟装置带电流时变送器的输出误差，mA或V；

$ A\_{di} $—— 热模拟装置带电流时变送器的输出值，mA或V。

# 8校准结果表达

经校准的绕组温控器出具校准证书，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：

1. 标题：“校准证书”；
2. 实验室名称和地址；
3. 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
4. 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
5. 客户的名称和地址；
6. 被校对象的描述和明确标识，如型号、生产厂家和产品编号等信息；
7. 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；
8. 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；
9. 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,应包括环境温度、相对湿度等；

1) 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声明；

p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

# 9复校时间间隔

绕组温控器的复校时间间隔可根据具体使用情况由用户确定，建议复校时间间隔最长不超过一年。

附录A-1

变压器用绕组温控器示值误差、回差校准记录格式

共 页 第 页

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 委托单位 |  | 记录编号 |  |
| 仪器名称 |  | 出厂编号 |  |
| 生产厂家 |  | 委托单位地址 |  |
| 型号规格 |  | 测量范围 | ℃ | 准确度等级 |  |
| 技术依据： | 校准地点 |  |
| 主要计量标准器具 |
| 设备名称 | 型号规格 | 编号 | 测量范围 | 准确度等级/最大允许误差 | 标准器证书号 | 有效期至 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 校准条件 |
| 环境温度 | ℃ | 环境湿度 | RH% |
| 校准结果 |
| 外观检查 |  | 绝缘电阻 | MΩ | 绝缘强度 |  |
| 温度示值校准/℃ |
| 校准点 | 标准器示值 | 温控器示值 | 远传表示值 | 变送器示值/mA | 温控器误差 | 远传表误差 | 两表偏差 | 变送器输出误差 | 温控器回差 | 远传表回差 |
|  | 正行程 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 反行程 |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 正行程 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 反行程 |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 正行程 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 反行程 |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 正行程 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 反行程 |  |  |  |  |  |  |  |
| 温控器示值误差不确定度*U/*℃（*k*=2）： |
| 接点动作误差校准/℃ |
| 设定点温度 | 正行程 | 反行程 | 切换差 |
| 上切换值 | 上切换差 | 下切换值 | 下切换差 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

校准员： 核验员： 校准日期： 年 月 日

附录A-2

变压器用绕组温控器热模拟附加温升校准记录格式

 共 页 第 页

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 委托单位 |  | 记录编号 |  |
| 仪器名称 |  | 出厂编号 |  |
| 生产厂家 |  | 委托单位地址 |  |
| 型号规格 |  | 测量范围 |  ℃ | 准确度等级 |   |
| 技术依据： |  | 校准地点 |  |
| 主要计量标准器具 |
| 设备名称 | 型号规格 | 编号 | 测量范围 | 准确度等级/最大允许误差 | 标准器证书号 | 有效期至 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 校准条件 |
| 环境温度 | ℃ | 环境湿度 | RH% |
| 校准结果 |
| 外观检查 |  | 绝缘电阻 |  MΩ | 绝缘强度 |  |
| 热模拟附加温升校准/℃ |
| 恒温槽温度 | 未加电流前绕组温控器温度示值 | 通过A2电流$I\_{s}$ | 加电流后绕组温控器温度示值 | 标准温升 | 变送器示值/mA | 附加温升误差 | 变送器输出误差 | 不确定度*U*(*k*=2) | 时间常数/s |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

校准员： 核验员： 校准日期： 年 月 日

附录B

校准证书内页参考格式

|  |
| --- |
| 一、绕组温控器示值误差、回差校准  |
| 校准点/℃ | 温控器示值误差/℃ | 远传表示值误差/℃ | 两表偏差/℃ | 温控器示值回差/℃ | 远传表示值回差/℃ | *U/*℃（*k*=2） |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 二、绕组温控器接点动作误差、切换差校准 |
| 设定点温度/℃ | 接点动作误差/℃ | 切换差/℃ |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
| 三、绕组温控器热模拟特性校准 |
| 恒温槽温度/℃ | 附加温升$T\_{∆}$/℃ | 附加温升误差/℃ | *U/*℃（*k*=2） | 热模拟时间常数/s |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 四、温度变送器输出误差校准 |  |  |  |
| 1.热模拟装置不带电流时： |  |  |  |
| 校准点/℃ | 输出误差/mA, |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
| 2.热模拟装置带电流时： |  |  |
| 恒温槽温度/℃ | 附加温升$T\_{∆}$/℃ | 输出误差/mA, |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |

附录C

变压器用绕组温控器示值误差校准不确定度分析示例

C.1 被校对象

变压器用绕组温控器，测量范围：（0～150）℃，最小分度值：2℃，准确度等级2.0级。

C.2 校准方法概述

依据本规范中示值误差的校准方法，将标准器和被校绕组温控器的温包按规定同时置于恒温槽中，采用比较法进行校准。以50℃为校准点进行不确定度分析。

C.3 测量模型

$$∆t=t−t\_{s} （1）$$

式中： $∆t$——绕组温控器示值误差，℃；

$t$——绕组温控器指示值，℃；

$t\_{s}$——标准温度计指示值，℃;

C.4 方差和灵敏系数

对式（1）各分量求偏导，各分量灵敏系数如下：

$$c\_{1}=\frac{∂∆t}{∂t}=1 ; c\_{2}=\frac{∂t}{∂t\_{s}}=−1 $$

C.5 标准不确定度评定

C.5.1 输入量*t*引入的标准不确定度

C.5.1.1 由被校绕组温控器示值估读引入的标准不确定度$u\_{1}$

由于绕组温控器的示值估读到其分度值的1/10，即为0.2℃，区间半宽为0.1℃，按均匀分布处理，包含因子$k=\sqrt{3}$，则

$$u\_{1}=\frac{0.1℃}{\sqrt{3}}=0.058℃ （2）$$

C.5.1.2 被校绕组温控器测量重复性引入的标准不确定度$u\_{2}$

在相同条件下对被校表在50℃点进行10次重复测量（均在正行程上进行），测得示值如下：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 50.0 | 50.8 | 51.0 | 50.8 | 51.2 | 51.0 | 50.8 | 50.8 | 50.8 | 50.8 | 50.8 |

则 $ u\_{2}=0.21℃ （3） $

C.5.2 输入量*ts*引入的标准不确定度

C.5.2.1 恒温槽温度均匀性引入的标准不确定度$u\_{3}$

恒温槽工作区域最大温差0.1℃，区间半宽为0.05℃，按均匀分布处理，取包含因子$k=\sqrt{3}$，则

$$u\_{3}=\frac{0.05℃}{\sqrt{3}}=0.029℃ （4） $$

C.5.2.2 恒温槽温度波动性引入的标准不确定度$u\_{4}$

恒温槽的波动性（不超过）0.1℃/10min，由于标准器波动性引入的不确定度区间半宽为0.05℃，按均匀分布处理，取包含因子$k=\sqrt{3}$，则

$$u\_{4}=\frac{0.05℃}{\sqrt{3}}=0.029℃ （5）$$

C.5.3.1 标准温度计引入的标准不确定度$u\_{5}$

根据标准铂电阻温度计检定规程，在测量范围内，二等标准铂电阻温度计的稳定性换算成温度不超过20mK，按正态分布处理，取包含因子$k=2.58$，则

$$u\_{5}=\frac{a}{k}=\frac{0.2℃}{2.58}=0.0078℃ （6） $$

C.5.3.2 标准电阻测量仪引入的标准不确定度$u\_{6}$

精密两通道标准铂电阻温度表在测量范围内符合0.02级要求，服从均匀分布，取包含因子$k=\sqrt{3}$，则

$$u\_{6}=\frac{a}{k}=\frac{0.02\%×30.0492}{0.1×\sqrt{3}}=0.035℃ （7） $$

C．6 合成标准不确定度

C.1 标准不确定度汇总表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标准不确定 | 不确定度来源 | 标准不确定度/℃ |
| $$u\_{1}$$ | 被校绕组温控器示值估读 | 0.058 |
| $$u\_{2}$$ | 被校绕组温控器测量重复性 | 0.21 |
| $$u\_{3}$$ | 恒温槽温度均匀性 | 0.029 |
| $$u\_{4}$$ | 恒温槽温度波动性 | 0.029 |
| $$u\_{5}$$ | 标准器及精密两通道标准铂电阻温度表的稳定性 | 0.0078 |
| $$u\_{6}$$ | 标准器及精密两通道标准铂电阻温度表允差 | 0.035 |

以上各项标准不确定度互不相关，则合成标准不确定度为：

$$u\_{c}=\sqrt{u\_{1}^{2}+u\_{2}^{2}+u\_{3}^{2}+u\_{4}^{2}+u\_{5}^{2}+u\_{6}^{2}}=0.22℃ （8） $$

C．7 扩展不确定度

取包含因子$k=2$,则扩展不确定度为：

$$U=k×u\_{c}=0.44℃≈0.5℃$$

附录D

变压器用绕组温控器附加温升误差校准不确定度分析示例

D.1 被校对象

变压器用绕组温控器，测量范围：（0～150）℃，最小分度值：2℃，准确度等级2.0级。

D.2 校准方法概述

将绕组温控器温包和标准温度计插入恒温槽，恒温槽温度恒定在（20~80）℃范围内某个温度点，一般选80℃，记录恒温槽实际温度$t\_{S}$及绕组温控器指示值$t\_{R}$，然后调节交流恒流源电流使$A\_{2}$恒定在附加温升$T\_{∆}$对应的电流$I\_{S}$（见表1），待绕组温控器指示值稳定后，记录其指示值$t\_{Ri}$。$(t\_{Ri}−t\_{R})$即为实测附加温升X ,实测附加温升与$T\_{∆}$的差值即为附加温升误差*Y*。

D.3 测量模型

 $Y=X−T\_{∆} （1）$

式中：

$Y$ —— 附加温升误差，℃；

*X* —— 实测附加温升，℃；

$t\_{R} $—— 未加电流前绕组温控器温度示值℃；

$t\_{Ri}$ —— 加电流后绕组温控器温度示值，℃；

$T\_{∆} $—— 热模拟温示值，根据加热电流$I\_{s}$从表1中差得,℃；

D.4 方差和灵敏系数

灵敏系数为：

$$c\_{1}=\frac{∂Y}{∂X}=1 c\_{2}=\frac{∂Y}{∂∆T}=−1 $$

设$X和T\_{∆}$引入的标准不确定度分量分别为$u\_{1}$、$u\_{2}$，由于各分量彼此独立，因此附加温升误差合成方差表示为：：

$$u\_{c}^{2}=u\_{1}^{2}+u\_{2 }^{2} （2）$$

D.5 标准不确定度评定

D.5.1 输入量*X*引入的标准不确定度

D.5.1.1 由被校绕组温控器示值估读引入的标准不确定度$u\_{1}$

由于绕组温控器的示值估读到其分度值的1/10，即为0.2℃，区间半宽为0.1℃，按均匀分布处理，包含因子$k=\sqrt{3}$，则

$$u\_{1}=\frac{0.1℃}{\sqrt{3}}=0.058℃ （3）$$

D.5.1.2 被校绕组温控器测量重复性引入的标准不确定度$u\_{2}$

在相同条件下对被校表在油温80℃点时，对$A\_{2}$施加1.14A交流电流（对应的附加温升24℃），稳定后读取被校表的示值，重复测量6次，根据极差法计算单次测量的试验标准偏差：$s=0$.26℃，则：

$$u\_{2}=s=0.26℃ （3） $$

D.5.1.3 恒温槽温度波动性引入的标准不确定度$u\_{3}$

恒温槽的波动性（不超过）0.1℃/10min，由于标准器和被校准时间常数不同，波动性引入的不确定度区间半宽为0.05℃，按均匀分布处理，取包含因子$k=\sqrt{3} $,则

$$u\_{3}=\frac{0.05℃}{\sqrt{3}}=0.029℃ （4） $$

D.5.2 $T\_{∆}$引入的标准不确定度$u\_{4}$

$A\_{2}$的准确度等级0.5级，测量范围2A，则电表$A\_{2}$的最大允差为：±10mA，根据本规范表1，在附加温升20℃时，±10mA换算为温度约为±0.4℃，区间半宽为0.4℃，按均匀分布处理，取包含因子$k=\sqrt{3}$，则

$$u\_{4}=\frac{0.4℃}{\sqrt{3}}=0.23℃ （5）$$

D．6 合成标准不确定度

**D.1 标准不确定度汇总表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标准不确定度 | 不确定度来源 | 标准不确定度/℃ |
| $$u\_{1}$$ | 被校绕组温控器示值估读 | 0.058 |
| $$u\_{2}$$ | 被校绕组温控器测量重复性 | 0.26 |
| $$u\_{3}$$ | 恒温槽温度波动性 | 0.029 |
| $$u\_{4}$$ | 电流表A2引入的 | 0.23 |

上述各项标准不确定度分量互不相关，则合成标准不确定度为：

$$u\_{c}=\sqrt{u\_{1}^{2}+u\_{2}^{2}+u\_{3}^{2}+u\_{4}^{2}}=0.35℃ （6） $$

D．7 扩展不确定度

取包含因子$k=2$,则扩展不确定度为：

 $U=k×u\_{c}=0.7℃$

JJF（新）XX-2023