



黑龙江省地方计量技术规范

JJF (黑) xx-202x

变压器有载分接开关测试仪校准规范

Calibration Specification for
Transformer On-load Tap-Changer Tester
(审定稿)

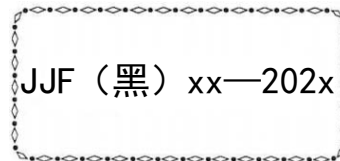
202x-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

黑龙江省市场监督管理局 发布

变压器有载分接开关测试仪 校准规范

Calibration Specification for
Transformer On-load Tap-Changer Tester



归口单位：黑龙江省市场监督管理局

主要起草单位：黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司

本规范委托黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司负责解释

本规范主要起草人：

薛 燕（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

曹贺春（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

李绍华（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

张鹏翼（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

吕 俊（北方华安工业集团有限公司）

陈宝亮（黑龙江省市场监督管理审核查验中心）

王 权（吉林航空维修有限责任公司）

参加起草人：

陈培均（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

尹承楠（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

杨睿童（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

目录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(1)
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 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(2)
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 校准记录(推荐)格式.....	(7)
附录 B 校准证书内页(推荐)格式.....	(8)
附录 C 变压器有载分接开关测试仪过渡时间示值误差不确定度评定示例.....	(10)
附录 D 变压器有载分接开关测试仪过渡电阻示值误差不确定度评定示例.....	(13)

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》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范参考了 GB/T 10230.1-2019《分接开关第 1 部分：性能要求和试验方法》、DL/T 265-2012《变压器有载分接现场试验导则》、DL/T 846.8-2017《高电测试设备通用技术条件第 8 部分：有载分接开关测试仪》、DL/T1694.2-2017《高压测试仪器及设备校准规范第 2 部分：电力变压器分接开关测试仪》。

本规范为首次发布。

变压器有载分接开关测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于过渡电阻小于 $80\ \Omega$ 、过渡时间小于500ms、三相同期性小于10ms的变压器有载分接开关测试仪的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

GB/T 10230.1—2019 分接开关第1部分：性能要求和试验方法

DL/T 846.8—2017 高电测试设备通用技术条件第8部分：有载分接开关测试仪

DL/T1694.2—2017 高压测试仪器及设备校准规范第2部分：电力变压器分接开关测试仪

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（包括所有修改单）适用于本规范。

3 术语

以下术语和定义适用于本规范。

3.1 有载分接开关 on-load tap-changer

适合在变压器励磁或负载下进行操作的用来改变绕组分接位置的一种装置。

[GB/T 10230.1-2019, 3.1]

3.2 过渡电阻 transition resistance

有载分接开关由一个分接位切换至另一个分接位过程中，桥接于两个分接位之间的限流电阻。

[DL/T 846.8-2017, 3.2]

3.3 过渡时间 transition time

有载分接开关由一个分接位切换至另一个分接位所需的时间。

[DL/T 846.8-2017, 3.3]

3.4 三相同期性 three-phase synchronism

有载分接开关在分接变换过程中，三相过渡电阻接入调压绕组时相间的最大时间差。

4 概述

变压器有载分接开关测试仪（以下简称测试仪）是用来测量变压器有载开关动作过程中过渡电阻、过渡时间等的专用仪器，其工作原理是恒流源向变压器有载开关输入直流电流信号，利用变压器有载分接开关位置变换过程中端口电压信号的变化，实现过渡电阻，过渡时间等参数的测量。测试仪主要由电源模块、信号发生模块、信号采集模块、控制模块、显示与操作模块、存储与通信模块等部分组成。

5 计量特性

表 1 计量特性一览表

校准项目	技术指标
过渡电阻示值误差	测量范围：0.1 Ω ~80 Ω ；最大允许误差： $\pm$ （5%读数+0.1 Ω ）
过渡时间示值误差	测量范围：0.1ms~500ms；最大允许误差： $\pm$ （0.5%读数+0.2ms）
三相同期性	测量范围：0ms~10ms；最大允许误差： $\pm$ 0.5 ms

注：校准工作不判定符合与否，上述计量特性的指标仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：20 $^{\circ}$ C $\pm$ 5 $^{\circ}$ C；

6.1.2 相对湿度：30%~80%；

6.1.3 供电电压（220 $\pm$ 22）V，频率（50 $\pm$ 2.5）Hz，周围无影响测试仪正常工作的强电场或磁场干扰。

6.2 测量标准及其他设备

校准时所需的标准器及配套设备如下：

变压器有载分接开关测试仪校准装置（或满足技术指标要求的其它设备）

电阻测量范围：0.1 Ω ~100 Ω ；

最大允许误差： $\pm$ （0.2%读数+0.02 Ω ）；

时间测量范围：0.1ms~500 ms

最大允许误差： $\pm$ （0.02%读数+0.02 ms）。

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 2。

表2 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款
1	过渡电阻示值误差	7.2.2
2	过渡时间示值误差	7.2.3
3	三相同期性	7.2.4

7.2 校准方法

7.2.1 过渡电阻示值误差

按图1连接标准和被校设备。在量程范围内选取不少于5个校准点，应包含量程的10%，50%，及90%附近点。启动测试仪，调整校准装置的电阻输出或标准电阻的阻值 R_n ，控制开关K的通断，使测试仪进入测试状态，记录变压器有载分接开关测试仪过渡电阻 R_x 。应对A、B、C三相过渡电阻的示值误差应分别进行校准。过渡电阻示值误差按公式（1）计算。

$$\Delta_R = R_x - R_n \quad (1)$$

式中：

Δ_R ——过渡电阻示值误差， Ω ；

R_x ——被校变压器有载分接开关测试仪的示值， Ω ；

R_n ——被校变压器有载分接开关测试仪的实际值， Ω 。

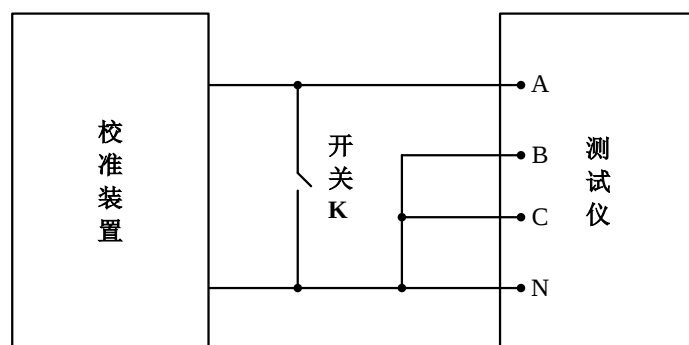


图1 过渡电阻示值误差校准线路图

$$\gamma_R = \frac{\Delta_R}{R_n} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

γ_R ——过渡电阻相对示值误差。

7.2.2 过渡时间示值误差

按图2分别对A相、B相、C相的过渡时间进行校准。启动测试仪，在量程的10%，50%，及90%附近点设置校准装置的过渡时间 t_n ，控制校准装置的通断，使变压器有载分接开关测试仪进入测试状态，记录显示值。按公式（3）计算过渡时间的示值误差。

$$\Delta_t = t_x - t_n \quad (3)$$

式中：

Δ_t ——过渡时间示值误差，ms；

t_x ——被校变压器有载分接开关测试仪的示值，ms；

t_n ——被校变压器有载分接开关测试仪的实际值，ms。

$$\gamma_t = \frac{\Delta_R}{R_n} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

γ_t ——过渡时间相对示值误差。

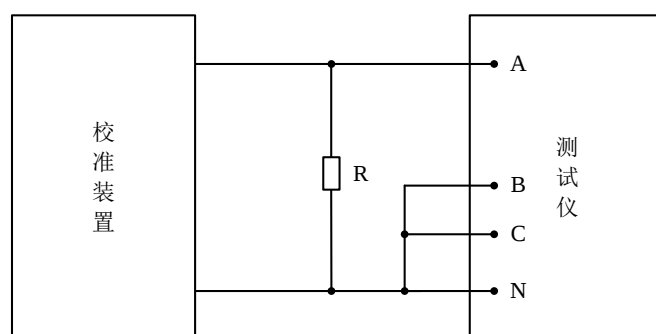


图2 过渡时间示值误差校准接线图

7.2.3 三相同期性

测试仪三相同期性校准的接线图如图3所示，启动测试仪，在量程的10%，50%，及90%附近点通过校准装置的标准时间开关给出标准合闸时间 T ，测试仪对ABC三相同时测量，记录 T_A 、 T_B 、 T_C 。

最大合闸时间：

$$T_{MAX} = MAX(T_A, T_B, T_C) \quad (5)$$

最小合闸时间：

$$T_{MIN} = MIN(T_A, T_B, T_C) \quad (6)$$

测试仪的三相同期性:

$$\Delta_T = T_{\text{MAX}} - T_{\text{MIN}} \quad (7)$$

Δ_T 应满足表 1 的要求。

式中:

Δ_T ——三相同期性, ms;

T_A ——测试仪 A 相合闸时间示值, ms;

T_B ——测试仪 B 相合闸时间示值, ms;

T_C ——测试仪 C 相合闸时间示值, ms。

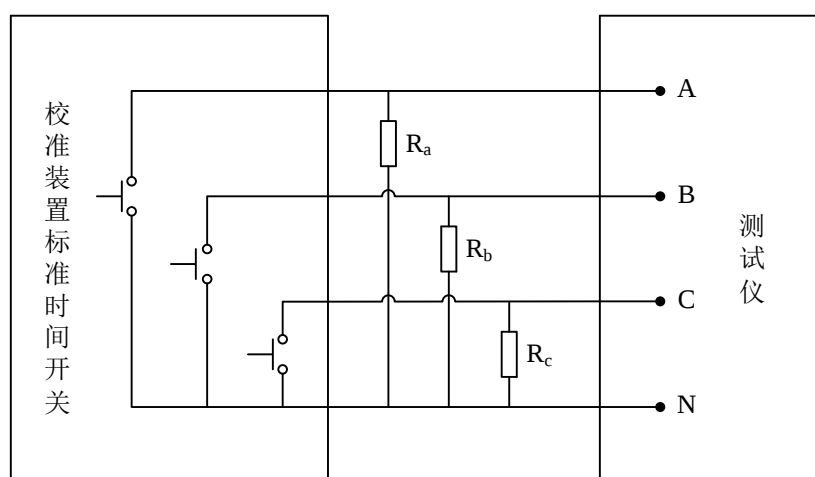


图 3 三相同期性校准接线图

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: “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) 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

复校时间间隔建议为 12 个月。

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的, 因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

变压器有载分接开关测试仪校准记录格式(推荐性)

委托单位		记录编号	
仪器名称		温度	
型号规格		相对湿度	
出厂编号		校准依据	
制造厂		校准地点	
校准人员		校准日期	
核验人员		备注	

校准使用的计量标准器具

标准器名称	型号/规格	测量范围	不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	证书编号及 有效期

1. 过渡电阻示值误差

单位: Ω

标准值	A 相			B 相			C 相		
	显示值	误差	$U(k=2)$	显示值	误差	$U(k=2)$	显示值	误差	$U(k=2)$

2. 过渡时间示值误差

单位: ms

设定值	实际值	A 相			B 相			C 相		
		显示值	误差	$U(k=2)$	显示值	误差	$U(k=2)$	显示值	误差	$U(k=2)$

3. 三相同期性

单位: ms

标准合闸时间 T:		
T _A 测量值	T _B 测量值	T _C 测量值
T _{MAX} :		
T _{MIN} :		
$\Delta_T =$		
标准合闸时间 T:		
T _A 测量值	T _B 测量值	T _C 测量值
T _{MAX} :		
T _{MIN} :		
$\Delta_T =$		
标准合闸时间 T:		
T _A 测量值	T _B 测量值	T _C 测量值
T _{MAX} :		
T _{MIN} :		
$\Delta_T =$		

校准员:

核验员:

附录 B

变压器有载分接开关测试仪校准证书格式(推荐性)

委托单位		记录编号	
仪器名称		温度	
型号规格		相对湿度	
出厂编号		校准依据	
制造厂		校准地点	
校准人员		校准日期	
核验人员		备注	

校准使用的计量标准器具

标准器名称	型号/规格	测量范围	不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	证书编号及 有效期

1. 过渡电阻示值误差

单位: Ω

标准值	示值误差			$U(k=2)$
	A 相	B 相	C 相	

2. 过渡时间示值误差

单位: ms

设定值	实际值	示值误差			$U(k=2)$
		A 相	B 相	C 相	

3. 三相同期性

单位: ms

Δ_T	同期性	$U(k=2)$

校准员:

核验员:

附录 C

变压器有载分接开关测试仪过渡电阻示值误差测量不确定度评定示例

C.1 概述

环境条件：温度 21℃，相对湿度：47%；

校准装置：测量范围 0.1Ω~100 Ω，准确度等级 0.2 级；

被校对象：

变压器有载分接开关测试仪，过渡电阻量程 100Ω，过渡电阻 MPE:±5%读数±0.1 Ω；

校准方法：见 7.2.1。

C.2 测量模型

C.2.1 过渡电阻测量模型：

$$\Delta = R_x - R_n \quad (C.1)$$

式中：Δ——示值误差；

R_x ——测试仪的示值，Ω；

R_n ——校准装置的标称值，Ω。

C.2.2 不确定度传播公式

$$u_c^2(\Delta) = \left(\frac{\partial \Delta}{\partial R_x} \right)^2 u^2(R_x) + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial R_n} \right)^2 u^2(R_n) \quad (C.2)$$

灵敏系数：

$$\frac{\partial \Delta}{\partial R_x} = 1 \quad (C.3)$$

$$\frac{\partial \Delta}{\partial R_n} = -1 \quad (C.4)$$

C.3 不确定度来源

C.3.1 变压器有载分接开关测试仪校准装置引入的不确定度；

C.3.2 测量重复性引入的不确定度；

C.3.3 被校仪器分辨力引入的不确定度。

C.4 标准不确定度评定

C.4.1 变压器有载分接开关测试仪校准装置引入的标准不确定度 u_1

以 10Ω 校准点为例, 校准装置过渡电阻 $MPE:\pm(0.1\%\text{读数}+2\text{m}\Omega)$ 。则

$$u_1 = \frac{(0.1\% \times 10) + 0.002}{\sqrt{3}} = 0.007\Omega$$

C.4.2 测量重复性引入的标准不确定度 u_2

选择 10Ω , 重复测量 10 次, 具体测量数据列于表 C.1。

表 C.1 重复性测量结果

Ω

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
测量值	10.00	10.00	10.01	10.00	10.00	10.00	10.01	10.00	10.00	10.00	10.002

标准不确定度按式 (C.3) 计算。

$$u_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R - \bar{R})^2}{n-1}} = 0.0042\Omega \quad (\text{C.3})$$

C.4.3 仪器分辨力引入的标准不确定度 u_3

被校仪器的分辨力为 0.01Ω , 则其引入的不确定度为:

$$u_3 = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.0029\Omega$$

因仪器分辨力引入的不确定度分量小于重复性引入的不确定度分量, 所以引入重复性的不确定度分量进行合成。

C.4.4 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总见表 C.2。

表 C.2 标准不确定度一览表

校准点	标准不确定度分量	不确定度来源	灵敏系数
10Ω	u_1	校准装置引入的不确定度	-1
	u_2	测量重复性引入的不确定度	1

C.4.5 合成标准不确定度

各不确定度分量互不相关，得

$$u_c^2 = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (\text{C.4})$$

$$u_c = \sqrt{0.007^2 + 0.0042^2} = 0.0082\Omega$$

C.4.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则校准点示值误差的扩展不确定度为：

$$U = 0.0082\Omega \times 2 = 0.017\Omega \quad (\text{C.5})$$

附录 D

变压器有载分接开关测试仪过渡时间示值误差测量不确定度评定示例

D.1 概述

环境条件：温度 21℃，相对湿度：47%；；

校准装置：测量范围 0.1ms~500 ms，准确度等级 0.2 级；

被校对象：变压器有载分接开关测试仪，过渡时间量程 100 ms，过渡时间 MPE:±0.5%读数±0.2ms；；

校准方法：见 7.2.2。

D.2 测量模型

D.2.1 过渡时间测量模型：

$$\Delta = t_x - t_n \quad (\text{D. 1})$$

式中：Δ——示值误差；

t_x ——测试仪的示值，ms；

t_n ——校准装置的实际值，ms。

D.2.2 不确定度传播公式

$$u_c^2(\Delta) = \left(\frac{\partial \Delta}{\partial t_x} \right)^2 u^2(t_x) + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial t_n} \right)^2 u^2(t_n) \quad (\text{D. 2})$$

灵敏系数：

$$\frac{\partial \Delta}{\partial t_x} = 1 \quad (\text{D. 3})$$

$$\frac{\partial \Delta}{\partial t_n} = -1 \quad (\text{D. 4})$$

D.3 不确定度来源

D.3.1 变压器有载分接开关测试仪校准装置引入的不确定度；

D.3.2 测量重复性引入的不确定度；

D.3.3 被校仪器分辨力引入的不确定度。

D.4 标准不确定度评定

D.4.1 校准装置引入的标准不确定度 u_1

以过渡时间为 100ms 为例，该点 MPE:±(0.01%读数+0.02ms)。则

$$u_1 = \frac{(0.01\% \times 100\text{ms}) + 0.02\text{ms}}{\sqrt{3}} = 0.017\text{ms}$$

D.4.2 测量重复性引入的标准不确定度 u_2

选择测量过渡时间 100ms 为校准点，重复测量 10 次，具体测量数据列于表 D.1。

表 D.1 重复性测量结果 (ms)

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
测量值	100.02	100.04	100.02	100.03	100.03	100.01	100.01	100.03	100.05	100.02	100.026

标准不确定度按式 (D.5) 计算。

$$u_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = 0.013\text{ms} \quad (\text{D.5})$$

D.4.3 仪器分辨力引入的标准不确定度 u_3

被校仪器的分辨力为 0.01ms，则其引入的不确定度为：

$$u_3 = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.0029\text{ms}$$

因仪器分辨力引入的不确定度分量小于重复性引入的不确定度分量，所以引入重复性的不确定度分量进行合成。

D.4.4 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总见表 D.2。

表 D.2 标准不确定度一览表

校准点	标准不确定度分量	不确定度来源	灵敏系数
100ms	u_1	校准装置引入的不确定度	-1
	u_2	测量重复性引入的不确定度	1

D.4.5 合成相对标准不确定度

各不确定度分量互不相关，得

$$u_c^2 = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (\text{D.6})$$

$$u_c = \sqrt{0.013^2 + 0.017^2} = 0.022\text{ms}$$

D.4.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则校准点示值误差的扩展不确定度为：

$$U = 0.022\text{ms} \times 2 = 0.044\text{ms} \quad (\text{D.7})$$
