



中华人民共和国工业和信息化部
电子计量技术规范

JJF (电子) XXXX—20XX

变压器有载分接开关测试仪
校准装置校准规范

Calibration Specification for Calibrators of Transformer On-load

Tap-changer Testers

(报批稿)

20XX-××-××发布

20XX-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

变压器有载分接开关测试仪 校准装置校准规范

Calibration Specification for Calibrators of
Transformer On-load Tap-changer Testers

JJF（电子）XXXX—20XX

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：广电计量检测集团股份有限公司

中国电子技术标准化研究院

湖南星途航空航天器制造有限公司

参与起草单位：中国测试技术研究院

广东省江门市质量计量监督检测所

湖南星途航空航天器制造有限公司

广州广高高压电器有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

朱镇杰（广电计量检测集团股份有限公司）
江贤志（广电计量检测集团股份有限公司）
李 洁（中国电子技术标准化研究院）
李源涛（湖南星途航空航天器制造有限公司）

参加起草人：

王冠熹（中国测试技术研究院）
胡学斌（广东省江门市质量计量监督检测所）
王 熔（湖南星途航空航天器制造有限公司）
刘贤文（广州广高高压电器有限公司）

目录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 过渡电阻	1
3.2 过渡时间	1
3.3 三相开断不同步时间	1
4 概述	1
5 计量特性要求	2
5.1 过渡电阻	2
5.2 过渡时间	2
5.3 三相开断不同步时间	2
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	3
7.2 校准方法	3
8 校准结果表达	6
9 复校时间间隔	6
附录 A 原始记录格式	7
附录 B 证书内页格式	9
附录 C 测量结果的不确定度评定示例	11

引言

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》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

变压器有载分接开关测试仪校准装置校准规范

1 范围

本规范适用于直流法的变压器有载分接开关测试仪校准装置（以下简称校准装置）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

DL/T 265—2012 变压器有载分接开关现场试验导则

DL/T 846.8-2017 高电压测试设备通用技术条件 第 8 部分：有载分接开关测试仪

JJF (机械) 1019-2018 有载分接开关测试仪校准规范

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 过渡电阻 transition resistance

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，术语和定义 3.2]

3.2 过渡时间 switching time

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，术语和定义 3.3]

3.3 三相开断不同步时间 three-phase cut-off out of sync time

电阻式分接开关在分接变换中，三相过渡电阻接入调压绕组时刻之间的最大时间差。

[DL/T 265-2012，术语和定义 3.8]

4 概述

校准装置是用于对变压器有载分接开关测试仪进行校准的专用装置，可用于测量变压器有载分接开关测试仪的过渡电阻、过渡时间等参数。校准装置主要由控制器、标准电阻器阵列、开关管阵列等组成。其工作原理如图 1 所示。控制器通过控制不同开

关管的导通来模拟标准电阻器阵列的不同标准过渡电阻，控制器通过定时控制开关管的导通时间来模拟标准过渡时间。

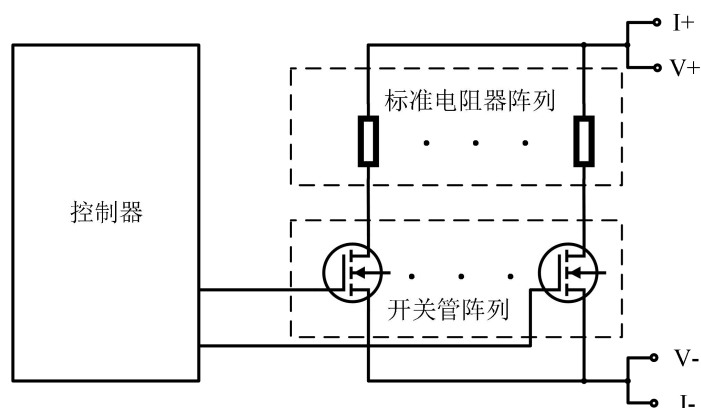


图 1 校准装置基本原理框图

5 计量特性要求

5.1 过渡电阻

设定范围： $(0.1\sim 80)\Omega$ ，最大允许误差： $\pm(0.2\%\text{读数}+0.01\Omega)$ 。

5.2 过渡时间

设定范围： $(1\sim 1000)\text{ms}$ ，最大允许误差： $\pm 10\mu\text{s}$ 。

5.3 三相开断不同步时间

校准装置三相开断不同步时间的测量误差不超过过渡时间最大允许误差的 $1/5$ 。

注：以上技术指标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： $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.2 相对湿度： $\leq 80\%$ 。

6.1.3 由市电供电的校准装置，电源有如下要求：

电压： $(220\pm 22)\text{V}$ ；频率： $(50\pm 0.5)\text{Hz}$ 。

6.1.4 其他：周围无影响正常校准工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 直流标准电流源

测量范围： $(0.1\sim 2)\text{A}$ ；

最大允许误差： $\pm 0.03\%$ ；

输出功率 $\geq 20\text{W}$ 。

6.2.2 直流数字电压表

测量范围：(0.1~100) V；

最大允许误差： $\pm 0.02\%$ 。

6.2.3 时间间隔测量仪

不少于3通道，测量范围：(0.1~1000) ms；

最大允许误差： $\pm 5 \times 10^{-8}$ 。

6.2.4 直流电源

电压输出范围：(1~5) V；

最大允许误差： $\pm 0.5\%$ ；

输出功率 $\geq 2\text{W}$ 。

6.2.5 电阻器

10 Ω 电阻器一组；

最大允许误差： $\pm 1\%$ ；

负载功率 $\geq 2\text{W}$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目如表 1 所示。

表 1 校准项目表

序号	校准项目	条款
1	外观及功能检查	7.2
2	过渡电阻	7.3
3	过渡时间	7.4
4	三相开断不同步时间	7.5

7.2 校准方法

7.2.1 外观及功能检查

被校校准装置外观应完好，无影响正常工作的机械损伤，各种按键、开关应有保证正确使用的标志，检查各种调节旋钮、按键应灵活可靠。通电检查，仪器应能正常工作。检查结果记录于附录 A 表 A.1 中。

7.2.2 过渡电阻

采用标准源法，接线如图 2 所示。将被校校准装置的电流测量端与直流标准电流源的电流输出端相连接，将被校校准装置的电压输出端与直流标准电压表的电压测量端相连接。逐相进行校准，在电阻量程范围内均匀选取至少 8 个校准点。按照选取的过渡电阻校准点设置直流标准电流源输出直流电流值 I_x ，电阻值小于 10Ω ， I_x 设置为 1A，电阻值不小于 10Ω ， I_x 设置为 0.4A；读取直流数字电压表示值 U_x ，数据记录于附录 A 表 A.2 中。按公式 (1) 计算过渡电阻的示值误差。

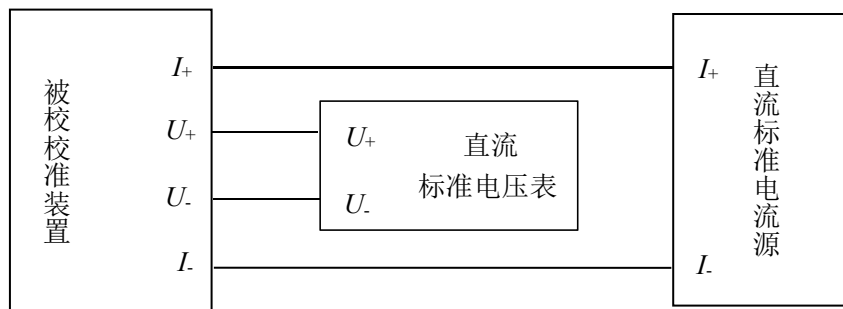


图 2 过渡电阻校准接线图（单相）

$$\Delta R = R_n - \frac{U_x}{I_x} \quad (1)$$

式中：

ΔR ——过渡电阻的示值绝对误差， Ω ；

R_n ——被校校准装置的过渡电阻标称值， Ω ；

U_x ——直流标准电压表的直流电压实测值，V；

I_x ——直流标准电流源的直流电流输出标准值，A。

7.2.3 过渡时间

接线如图3所示。将被校校准装置的电流测量端通过电阻器与直流电源输出端相连接，将被校校准装置的电压输出端与时间间隔测量仪相连。

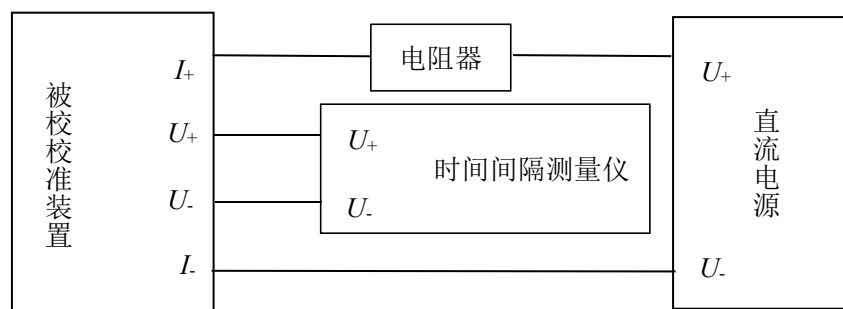


图 3 过渡时间校准接线示意图（单相）

逐相进行校准，每相过渡时间范围内均匀选取5个校准点，将被校校准装置的过渡时间设置为单电阻过渡模式，设置过渡电阻为最大值。设置电阻器阻值与过渡电阻值相同或相近。启动直流电源输出电压。设置时间间隔测量仪为正脉冲宽度测量模式，触发阈值设置为直流电源输出电压的1/4。设置过渡时间至校准点 t_n ，启动被校校准装置测试功能，记录时间间隔测量仪的时间实测值 t_x ，根据公式（2）计算过渡时间示值误差，数据记录于附录A表A.3中。

$$\Delta t = t_n - t_x \quad (2)$$

式中：

Δt ——过渡时间的示值绝对误差，ms；

t_n ——被校校准装置的过渡时间标称值，ms；

t_x ——时间间隔测量仪的实测值，ms。

7.2.4 三相开断不同步时间

接线如图4（a）所示。设置被校校准装置的过渡时间为单电阻过渡模式，过渡电阻为最大值，A相过渡时间为1ms，B相过渡时间为2ms，C相过渡时间为 $(1+t_n)$ ms。设置三相开断不同步时间校准点 t_n 为3ms（或根据客户要求增加或减少校准点）。设置电阻器阻值与过渡电阻值相同或相近，调节直流电源合适的电压并输出。设置时间间隔测量仪为双通道正脉冲边沿计时模式，触发阈值设置为直流电源输出电压的1/4。启动被校校准装置测试功能，记录时间间隔测量仪的时间实测值，根据公式（2）计算三相开断不同步时间示值误差，数据记录于附录A表A.4中，应满足5.3的要求。

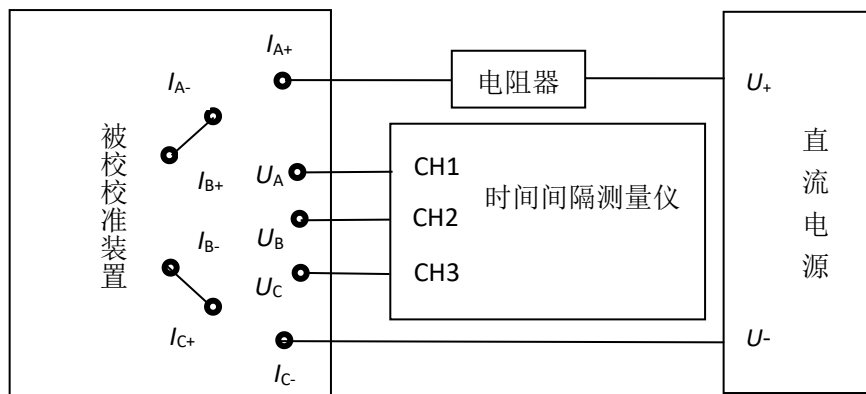


图4 三相开断不同步时间校准接线示意图

8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准证书应至少包含以下信息：

- 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) 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说明；
- 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

建议复校时间间隔一般为 1 年。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

原始记录格式

A.1 外观及功能检查

☐ 正常 ☐ 不正常：_____。

A.2 过渡电阻

相序	标称值	实测值	示值误差	测量不确定度 (<i>k</i> =2)
A				
B				
C				

相序	标称值	实测值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)
C				

A.3 过渡时间

相别	标称值	实测值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)
A				
B				
C				

A.4 三相开断不同步时间

标称值	相别	过渡时间 实测值	三相开断不同步 时间实测值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)
3ms					

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及功能检查

☐ 正常 ☐ 不正常：_____。

B.2 过渡电阻

相别	标称值	实测值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)
A				
B				
C				

相别	标称值	实测值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)
C				

B.3 过渡时间

相别	标称值	实测值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)
A				
B				
C				

B.4 三相开断不同步时间

标称值	实测值	示值误差	测量不确定度($k=2$)
3ms			

附录 C

测量结果的不确定度评定示例

C.1 过渡电阻测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

按规范校准方法接线，调节被校校准装置输出至校准点，读取直流标准电压表的电压示值。

$$\Delta R = R_n - \frac{U_x}{I_x} \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔR ——过渡电阻的示值绝对误差， Ω ；

R_n ——被校校准装置的过渡电阻标称值， Ω ；

U_x ——直流标准电压表的直流电压实测值，V；

I_x ——直流标准电流源的直流电流输出标准值，A。

不确定度传播公式及灵敏度系数，依照公式：

$$u_c^2(\Delta) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 \cdot u^2(x_i) \quad (\text{C.2})$$

由于 V_n 、 V_x 独立不相关，由公式(C.3)得到：

$$u_c^2(\Delta R) = c_1^2 u^2(R_n) + c_2^2 u^2(V_x) + c_3^2 u^2(I_x)$$

则式中灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta R}{\partial R_n} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta R}{\partial V_x} = -\frac{1}{I}, \quad c_3 = \frac{\partial \Delta R}{\partial I_x} = -\frac{U}{I^2}$$

C.1.2 不确定度来源

不确定度来源主要有：测量重复性，标准器引入的不确定度分量，环境条件（温度、湿度、电源、电磁场）影响引起的不确定度分量等。测量是在规范规定的环境条件下进行，环境条件影响引起的不确定度分量可忽略不计。

C.1.3 标准不确定度的评定

C.1.3.1 测量重复性引入的不确定度 $u(R)$

按上述方法，被校校准装置设置输出电阻 10Ω ，对被校校准装置（型号 YZ-15 变压器有载分接开关测试仪校准装置）在短时间内重复测量 10 次，实测值如下：

序号	1	2	3	4	5	平均值
实测值(Ω)	10.004	10.004	10.004	10.003	10.004	10.0037
序号	6	7	8	9	10	
实测值(Ω)	10.004	10.004	10.003	10.004	10.003	

根据贝塞尔公式计算实验标准偏差：

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = 0.0005 \Omega$$

因此重复性测量引入绝对标准不确定度为：

$$u(R) = s(x) = 0.5 \text{m}\Omega$$

C.1.3.2 直流标准电流源引入的标准不确定度 $u(I_n)$

直流标准电流源经校准符合技术指标要求，通过查询说明书得知，在输出直流电流 1A 时最大允许误差为 $\pm 0.03\%$ ，视其为均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，因此：

$$u(I_n) = 1 \text{A} \times 0.03\% / \sqrt{3} = 0.18 \text{mA}$$

C.1.3.3 直流标准电压表引入的标准不确定度 $u(V_n)$

直流标准电压表经校准符合技术指标要求，通过查询说明书得知，在直流电压 10.0037V 时的最大允许误差为： $\pm 0.02\%$ ，视其为均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，因此：

$$u(V_n) = 10.0037 \text{V} \times 0.02\% / \sqrt{3} = 1.2 \text{mV}$$

C.1.4 合成标准不确定度

C.1.4.1 标准不确定度分量如表 C1 所示。

表 C1 标准不确定度分量一览表

输入量	标准不确定度来源	概率分布	灵敏度系数	不确定度分量
$u(R)$	测量重复性引入	正态分布	1	$0.5 \text{m}\Omega$
$u(V_n)$	直流标准电压表引入	均匀分布	-1A^{-1}	1.2mV
$u(I_n)$	直流标准电流源引入	均匀分布	$-10.0037 \text{V} \cdot \text{A}^{-2}$	0.18mA

C.1.4.2 合成标准不确定度的计算

上述标准不确定度分量独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c(\Delta R) = \sqrt{c_1^2 u^2(R) + c_2^2 u^2(V_n) + c_3^2 u^2(I_n)} \approx 3 \text{m}\Omega$$

C.1.5 扩展不确定度

取 $k=2$, 则 $U=ku_c=6\text{m}\Omega$

C.2 过渡时间测量结果不确定度评定

C.2.1 测量模型

按规范校准方法接线, 调节被校校准装置输出至校准点, 读取时间间隔测量仪的时间测量值。

$$\Delta t = t_n - t_x \quad (\text{C.4})$$

式中:

Δt ——过渡时间的示值绝对误差, ms;

t_n ——被校校准装置的过渡时间标称值, ms;

t_x ——时间间隔测量仪的实测值, ms。

由于 t_n 、 t_x 独立不相关, 则灵敏系数:

$$u_c^2(\Delta t) = c_1^2 u^2(t_n) + c_2^2 u^2(t_x), \quad c_1 = \frac{\partial \Delta t}{\partial t_n} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta t}{\partial t_x} = -1$$

C.2.2 不确定度来源

不确定度来源主要有: 测量重复性, 标准器引入的不确定度分量, 环境条件(温度、湿度、电源、电磁场)影响引起的不确定度分量等。测量是在规范规定的环境条件下进行, 环境条件影响引起的不确定度分量可忽略不计。

C.2.3 标准不确定度的评定

C.2.3.1 测量重复性引入的不确定度 u_1 。

以校准 100ms 为例, 按上述方法对时间参数连续测量 10 次, 数据如下:

序号	1	2	3	4	5	平均值
实测值(ms)	99.999768	99.999765	99.999767	99.999769	99.999768	99.9997675
序号	6	7	8	9	10	
实测值(ms)	99.999770	99.999766	99.999769	99.999766	99.999767	

根据贝塞尔公式计算实验标准偏差:

$$s_n(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = 1.6 \times 10^{-6} \text{ms}$$

因此重复性测量引入标准不确定度为 $u_1 = s_n(x) = 1.6 \times 10^{-6} \text{ms}$ 。

C.2.3.2 时间间隔测量仪分辨力引入的标准不确定度 u_2 。

时间间隔测量仪分辨力为 1ns，视其为均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，因此：

$$u_2 = \frac{1}{2\sqrt{3}} \text{ns} = 2.89 \times 10^{-7} \text{ms}$$

C.2.3.3 时间间隔测量仪测量时间准确度引入的标准不确定度 u_3 。

时间间隔测量仪测量时间最大允许误差为 $\pm 5 \times 10^{-8}$ ，视其为均匀分布，置信因子 $k = \sqrt{3}$ ，因此不确定度为 $u_3 = \frac{5 \times 100}{\sqrt{3}} \times 10^{-8} \text{ms} = 2.89 \times 10^{-6} \text{ms}$ 。

C.2.4 合成标准不确定度

C.2.4.1 标准不确定度分量如表 C3 所示。

表 C3 标准不确定度分量一览表

输入量	标准不确定度来源	概率分布	灵敏度系数	不确定度分量
u_1	测量重复性引入	正态分布	1	$1.6 \times 10^{-6} \text{ms}$
u_2	时间间隔测量仪分辨力不足引入	均匀分布	$\sqrt{3}$	$2.89 \times 10^{-7} \text{ms}$
u_3	时间间隔测量仪时间测量误差引入	均匀分布	$\sqrt{3}$	$2.89 \times 10^{-6} \text{ms}$

C.2.4.2 合成不确定度的计算

由于重复性测量和被校校准装置分辨力对测量不确定度的贡献存在重复，因此在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去，则合成标准不确定为：

$$u_c(\Delta t) = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_3^2 u_3^2} = 3.4 \times 10^{-6} \text{ms}$$

C.2.5 扩展不确定度的计算

取 $k=2$ ，则 $U = k u_c = 0.7 \times 10^{-5} \text{ms}$