



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1799—2020

低压断路器动作特性试验台校准规范

Calibration Specification of Test Devices for Action Characteristics
of Low Voltage Circuit Breakers

2020-01-17 发布

2020-04-17 实施

国家市场监督管理总局 发布

低压断路器动作特性 试验台校准规范

Calibration Specification of Test
Devices for Action Characteristics
of Low Voltage Circuit Breakers

JJF 1799—2020

归口单位：全国电磁计量技术委员会高压计量分技术委员会

主要起草单位：天津天传电控设备检测有限公司

北京东方计量测试研究所

天津电气科学研究院有限公司

天津电传富华科技有限公司

国家电控配电设备质量监督检验中心

参加起草单位：宝鸡同步电器有限公司

本规范委托全国电磁计量技术委员会高压计量分技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：孙 宁（天津天传电控设备检测有限公司）

耿丽恺（天津电气科学研究院有限公司）

黄晓钉（北京东方计量测试研究所）

李 昕（天津天传电控设备检测有限公司）

王春武（国家电控配电设备质量监督检验中心）

李洁平（天津电传富华科技有限公司）

参加起草人：顾丕骥（宝鸡同步电器有限公司）

目 录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 术语和计量单位.....	1
2.1 延时试验.....	1
2.2 瞬时试验.....	1
2.3 第一周期正负半波面积差.....	1
2.4 峰值系数偏离值.....	1
3 概述.....	1
4 计量特性.....	2
4.1 输出电流.....	2
4.2 电流持续时间.....	2
4.3 谐波失真.....	2
4.4 第一周期正负半波面积差.....	2
4.5 峰值系数偏离值.....	2
4.6 输出电流稳定性.....	2
5 校准条件.....	3
5.1 环境条件.....	3
5.2 测量标准及其他设备.....	3
6 校准项目和校准方法.....	3
6.1 校准项目.....	3
6.2 校准方法.....	4
7 校准结果的表达.....	7
7.1 校准证书.....	7
7.2 数据处理.....	7
8 复校时间间隔.....	8
附录 A 测量不确定度评定示例.....	9
附录 B 校准原始记录格式.....	14
附录 C 校准证书内页格式（第 2 页）.....	16
附录 D 校准证书校准结果页格式（第 3 页）.....	17

引言

本规范依据国家计量技术规范 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制而成。

本规范为首次制定的国家计量校准规范。

低压断路器动作特性试验台校准规范

1 范围

本规范适用于工频下低压断路器动作特性试验台的校准。

2 术语和计量单位

2.1 延时试验 delay test

验证断路器等保护器件的延时特性是否符合标准要求的试验。

2.2 瞬时试验 instantaneous test

验证断路器等保护器件的瞬时特性是否符合标准要求的试验。

2.3 第一周期正负半波面积差 area difference of the first cycle

第一个正弦波正半波和负半波面积的差异，用来衡量电流非对称性的一项指标。

2.4 峰值系数偏离值 deviation of crest factor

第一周期波形的峰值与有效值之比偏离标准值（正弦波峰值系数的标准值为 $\sqrt{2}$ ）的百分比。

3 概述

低压断路器动作特性试验台是一种用于检测断路器等过流保护电器的脱扣动作特性的仪器。试验台分为延时试验台和瞬时试验台两种。检测过载条件下脱扣特性的试验台称为延时试验台，检测在短路条件下脱扣特性的试验台称为瞬时试验台。

试验台主要由调压器、多磁路变压器、电流测量模块、时间测量模块等部分组成。试验台通过调节调压器电压，控制多磁路变压器的输出电压，并输出试验需要的延时或瞬时电流值，且显示出断路器的脱扣电流和脱扣时间，其原理如图1所示。

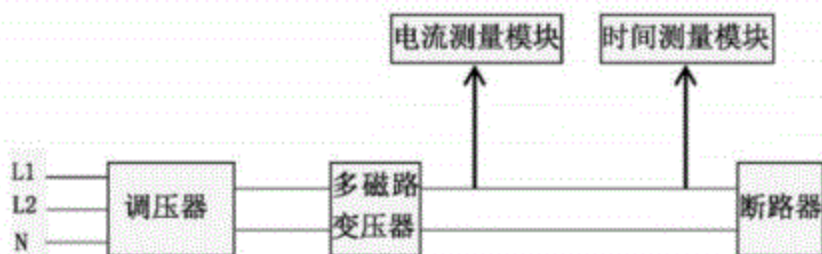


图1 试验台原理图

4 计量特性

4.1 输出电流

试验台输出电流应满足：

1 A~5 A，最大允许误差为±1.5%；

5 A~150 kA，最大允许误差为±2.5%。

4.2 电流持续时间

试验台电流持续时间应满足：

10 ms~1 s，最大允许误差为±5%；

1 s~1 h，最大允许误差为±1%。

4.3 谐波失真

对延时试验台，输出电流的谐波失真应不超过 5%。

4.4 第一周期正负半波面积差

对瞬时试验台，输出电流的第一周期正负半波面积差应不超过 5%。

4.5 峰值系数偏离值

对瞬时试验台，输出电流的第一周期峰值系数偏离值应不超过 3%。

4.6 输出电流稳定性

对延时试验台，电流输出稳定后，在 10 分钟内输出电流相对波动应不超过 2.5%。

注：以上条款不作为校准合格评定，只作为技术参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

试验台的校准环境应满足以下要求：

- 环境温度：10℃～30℃；
- 环境湿度：≤80% RH；
- 交流供电电压：220 V±22 V；380 V±38 V；
- 交流供电频率：50 Hz±1 Hz；
- 交流供电谐波失真：≤5%。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备具体要求见表1。

表1 校准设备及其要求

校准用设备	技术要求
电流/电压转换器 (如光纤电流传感器、分流器、电流传感器、罗氏线圈等)	测量设备的最大允许误差不大于被校准试验台最大允许误差的1/3
波形分析仪 (如数字示波器、数据采集器、谐波分析仪、电能质量分析仪、失真度测量仪等)	时基最大允许误差±1%；幅值最大允许误差±0.5%；失真度测量最大允许误差2%；谐波分析不低于20次谐波

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

表2 校准项目

校准项目	瞬时试验台	延时试验台
输出电流	√	√
电流持续时间	√	×
谐波失真	×	√
第一周期正负半波面积差	√	×
峰值系数偏离值	√	×
输出电流稳定性	×	√

注：“√”表示试验台需要进行的校准项目，“×”表示试验台不需要进行的校准项目。

6.2 校准方法

6.2.1 校准点的选取

对固定夹具的试验台，应在各个工位量程电流的 50%~100%范围内，均匀选取 3~5 个点（含 100%量程电流点）作为校准点；对通用型的试验台，应在各个量程电流的 10%~100%范围内，均匀选取不少于 5 个点（含 100%量程电流点）作为校准点。

6.2.2 输出电流

按图 2 接线，将电流/电压转换器接入回路，设定输出电流，用波形分析仪测量。按式（1）计算出试验台的输出电流，按式（2）计算输出电流示值误差，按式（3）计算输出电流相对误差。

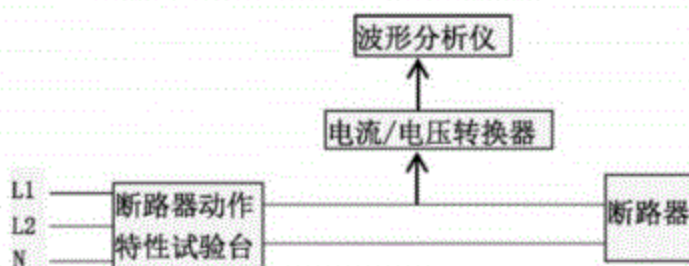


图 2 测量原理图

输出电流测量值计算公式为式（1）：

$$I_s = KU_s \quad (1)$$

式中： I_s —— 试验台输出电流测量值，A；

U_s —— 波形分析仪测得电压，V；

K —— 电流/电压转换器转换系数，A/V。

输出电流示值误差用式（2）表示：

$$\Delta(I) = I - I_s \quad (2)$$

式中： $\Delta(I)$ —— 输出电流示值误差，A；

I —— 试验台输出电流显示值，A；

I_s —— 试验台输出电流实际值，A。

输出电流相对误差用式（3）表示：

$$\gamma_I = \frac{\Delta(I)}{I_s} \times 100\% \quad (3)$$

式中： γ_I ——输出电流相对误差，%。

6.2.3 电流持续时间

电流持续时间校准按图 2 接线，可与 6.2.2 输出电流校准同时进行，用波形分析仪测量电流/电压转换器输出波形，测量波形的持续时间即为电流持续时间。

输出电流持续时间的示值误差用式 (4) 表示：

$$\Delta(T) = T - T_s \quad (4)$$

式中： $\Delta(T)$ ——电流持续时间示值误差，ms；

T ——试验台电流持续时间显示值，ms；

T_s ——试验台电流持续时间实际值，ms。

输出电流持续时间的相对误差用式 (5) 表示：

$$\gamma_T = \frac{\Delta(T)}{T_s} \times 100\% \quad (5)$$

式中： γ_T ——输出电流持续时间相对误差，%。

6.2.4 谐波失真

测量最大输出电流下的谐波失真，按图 2 接线，谐波分析不低于 20 次谐波。试验台电流输出稳定后，用波形分析仪直接测量电流/电压转换器输出波形的谐波失真，测量 5 次，取 5 组数据中的最大值作为校准结果。

6.2.5 第一周期正负半波面积差

按图 2 接线，用波形分析仪测量电流/电压转换器输出波形，按式 (6)、(7) 计算波形中第一个周期正负半波的面积，并代入式 (8)，计算面积差。

$$S_+ = \int_{t_0}^{t_1} i dt \quad (6)$$

$$S_- = \int_{t_1}^{t_2} |i| dt \quad (7)$$

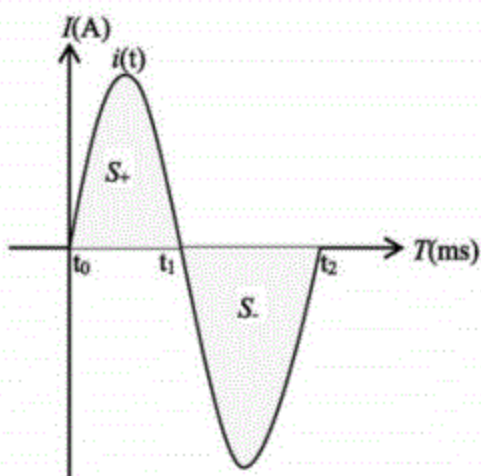


图3 正负半波面积差示意图

$$D_1 = \frac{|S_+ - S_-|}{S_+ + S_-} \times 100\% \quad (8)$$

式中： D_1 ——第一周期正负半波面积差，%；

S_+ ——正半波面积；

S_- ——负半波面积。

测量不少于5次，取测量数据中的最大值作为校准结果。

6.2.6 峰值系数偏离值

按图2接线，用波形分析仪测量电流/电压转换器输出波形，计算波形中第一个半波峰值系数。测量公式见式(9)：

$$CF = \frac{V_{\text{PEAK}}}{V_{\text{RMS}}} \quad (9)$$

式中： CF ——第一半波峰值系数；

V_{PEAK} ——第一半波峰值，V；

V_{RMS} ——第一半波有效值，V。

峰值系数偏离值 D_2 计算公式见式(10)：

$$D_2 = \left| \frac{CF - \sqrt{2}}{\sqrt{2}} \right| \times 100\% \quad (10)$$

测量不少于5次，取测量数据中的最大值作为校准结果。

6.2.7 输出电流稳定性

测量试验台在 10 分钟内的稳定性,按图 2 接线。试验台输出其额定电流稳定后,用波形分析仪测量电流电压转换器输出波形,在 10 分钟内观察被测电流的变化量,按式(11)计算试验台输出电流的稳定性。

$$G = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{(I_{\max} + I_{\min})/2} \times 100\% \quad (11)$$

式中: G ——输出电流稳定性, %;

I_{\max} ——10 分钟内,输出电流有效值的最大值, A;

I_{\min} ——10 分钟内,输出电流有效值的最小值, A。

7 校准结果的表达

7.1 校准证书

校准结果应在校准证书(报告)上反应,校准证书(报告)应至少包括以下信息:

- a) 标题,如“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) 被校对象的名称和明确标识;
- g) 进行校准的日期,如果与校准结果的有效性和有关时,应说明被校对象的接收日期;
- h) 对校准所依据的技术规范名称及代号;
- 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) 校准结果及其测量不确定度;
- l) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- m) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- n) 未经实验室书面批准,不得部分复制证书或报告的声明。

校准原始记录格式见附录 B,校准证书(报告)内页格式见附录 C、附录 D。

7.2 数据处理

证书中数据的有效位数应该与扩展不确定度的有效位数对应。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔为一年。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 测量不确定度评定示例

根据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的要求，以一台动作特性试验台为被校准对象，采用光纤电流传感器和数据采集器对其进行校准，分析输出电流示值误差和时间示值误差的扩展不确定度，其中评定内容包括不确定度来源、分类以及不确定度合成等。

A.1 输出电流示值误差不确定度评定

A.1.1 测量方法

光纤电流传感器、数据采集器以及被校准的动作特性试验台校准测量装置的电路连接如图 2，按要求的输出电流值进行设置，动作特性试验台和数据采集器分别同时显示输出电流的有效值 I 和 I_s ，进行比较和不确定度分析。

A.1.2 测量模型

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

式中：

$\Delta(I)$ ——被测试验台的电流示值误差，A；

I ——动作特性试验台输出电流的显示值，A；

I_s ——光纤电流传感器和数据采集器的电流测量值，A；

A.1.3 标准不确定度评定

A.1.3.1 测量重复性引入的测量不确定度 $u_1(I)$

被校准的动作特性测试台、光纤电流传感器和数据采集器构成了测量系统，试验台输出交流 5040 A，在相同环境条件下，重复测量 10 次，获得数据如表 A.1。

表 A.1 重复性测量结果

次数	I_s (A)
1	5045.4
2	5043.8
3	5042.7
4	5040.9

5	5041.1
6	5047.3
7	5047.5
8	5050.6
9	5047.4
10	5047.5

测量结果的平均值：
$$\bar{I} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} I_i = 5045.42 \text{ A}$$

单次测量值的实验标准偏差：
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} = 3.198 \text{ A}$$

则：
$$u_1(I) = 3.198 \text{ A}$$

A.1.3.2 由光纤电流传感器和数据采集器引入的标准不确定度分量 $u_2(I_s)$

光纤电流传感器和数据采集器作为整体校准装置，根据技术手册，在10℃~30℃条件下，3 kA~100 kA范围内校准装置电流测量最大允许误差为0.2%，符合均匀分布。因此，

对于5040 A的电流，相应的标准不确定度为：
$$u_2(I_s) = \frac{0.2\% \times 5040}{\sqrt{3}} = 5.820 \text{ A}$$

A.1.3.3 由动作特性试验台的电流分辨力引入的标准不确定度分量 $u_3(I)$

被校准装置在交流5040 A的数字显示分辨力为1 A，在(-0.5 A, 0.5 A)区间内为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则由 $u = a/k$ 得到：
$$u_3(I) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289 \text{ A}$$

A.1.4 合成标准不确定度

不确定度分量的汇总见表 A. 2。

表 A. 2 不确定度分量的一览表

输入量	不确定度来源	标准不确定度分量	概率分布	灵敏系数	不确定度分量
I	测量重复性	3.198 A	正态	1	3.198 A
I_s	光纤电流传感器、数据采集器的最大允许误差	5.820 A	均匀	1	5.820 A

I	动作特性试验台的分辨力	0.289 A	均匀	1	0.289 A
-----	-------------	---------	----	---	---------

合成不确定度 $u_c = \sqrt{u_1^2(I) + u_2^2(I_s) + u_3^2(I)} = 6.647 \text{ A}$

A.1.5 校准不确定度

取置信概率 $p = 95\%$, $k = 2$, 得到试验台在交流 5040 A 点的示值误差校准结果

的校准不确定度为: $U = ku_c = 13.294 \text{ A} \approx 13.3 \text{ A}$

换算至相对校准不确定度为: $U_{\text{rel}} = 0.26\%$, $k = 2$ 。

A.2 电流持续时间示值误差不确定度评定

A.2.1 测量方法

光纤电流传感器、数据采集器以及被校准的动作特性试验台校准测量装置的电路连接如图 2, 按照要求的时间进行设置, 动作特性试验台和数据采集器分别同时显示输出时间 T 和 T_s , 进行比较和不确定度分析。

A.2.2 测量模型

$$\Delta(T) = T - T_s \quad (\text{A.2})$$

式中:

$\Delta(T)$ ——被测试验台的时间示值误差, ms;

T ——动作特性试验台电流持续时间的示值, ms;

T_s ——光纤电流传感器和数据采集器的时间测量值, ms;

A.2.3 标准不确定度评定

A.2.3.1 测量重复性引入的测量不确定度 $u_1(T)$

被校准的动作特性测试台、光纤电流传感器和数据采集器构成了测量系统, 试验台电流持续时间为 60 ms, 在相同环境条件下, 重复测量 10 次, 获得数据见表 A.3。

表A.3 重复性测量结果

次数	T_i (ms)
1	60.1

2	59.7
3	58.9
4	60.2
5	60.1
6	59.8
7	58.9
8	59.9
9	60.2
10	60.3

测量结果平均值： $\bar{T} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} T_i = 59.81 \text{ms}$

单次测量值的实验标准偏差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} = 0.515 \text{ms}$

则： $u_1(T) = 0.515 \text{ms}$

A.2.3.2 光纤电流传感器和数据采集器引入的标准不确定度分量 $u_2(T_s)$

光纤电流传感器和数据采集器作为整体校准装置，根据技术手册，在 $10^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 条件下，校准装置时间测量最大允差为 0.2%，符合均匀分布。因此，相应的标准不确定度为

$$u_2(T_s) = \frac{0.2\% \times 60}{\sqrt{3}} = 0.069 \text{ms}$$

A.2.3.3 由动作特性试验台的时间分辨力引入的标准不确定度分量 $u_3(T)$

被校准装置在 60 ms 的数字显示分辨力为 1 ms，在 $(-0.5 \text{ms}, 0.5 \text{ms})$ 区间内为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则由 $u = a/k$ 得到： $u_3(T) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289 \text{ms}$

A.2.4 合成标准不确定度

不确定度分量的汇总见表 A.4。

表 A.4 不确定度分量的一览表

输入量	不确定度来源	标准不确定度分量	概率分布	灵敏系数	不确定度分量
T	测量重复性	0.515 ms	正态	1	0.515 ms

T_s	光纤电流传感器、数据采集器的最大允差	0.069 ms	均匀	1	0.069 ms
T	动作特性试验台的分辨力	0.289 ms	均匀	1	0.289 ms

$$\text{合成不确定度 } u_c = \sqrt{u_1^2(T) + u_2^2(T_s) + u_3^2(T)} = 0.595 \text{ ms}$$

A.2.5 校准不确定度

取置信概率 $p = 95\%$ ， $k = 2$ 由此得到试验台在时间 60 ms 点的示值误差校准结果的校准不确定度为：

$$U = k u_c = 1.038 \text{ ms} \approx 1.19 \text{ ms}$$

换算至相对校准不确定度为： $U_{\text{rel}} = 2.0\%$ ， $k = 2$ 。

附录 B 校准原始记录格式

B.1 校准原始记录格式（瞬时试验台）

原始记录号 XXXXXX-XXXX

第 1 页 共×页

委托单位:		任务编号:			
设备名称:		型号/规格:	仪器/设备编号:		
制造单位:		出厂编号:			
温度: ℃		湿度: %RH			
校准用标准仪器	型号	测量范围	不确定度/准确度	有效期至	
校准依据					
一、输出电流有效值:					
工位	示值 (A)	测量值 (mV)	变比 (A/V)	实际值 (A)	
二、电流持续时间:					
工位	显示时间		实测时间		
三、第一周期正负半波面积差异:					
	1	2	3	4	5
S ₊					
S ₋					
D _i					
四、峰值系数偏离值:					
	1	2	3	4	5
V _{PEAK}					
V _{RMS}					
D ₂					

校准员: _____ 年 月 日

核验员: _____ 年 月 日

B.2 校准原始记录格式（延时试验台）

原始记录号 XXXXXX-XXXX

第1页 共×页

委托单位：		任务编号：		
设备名称：	型号/规格：		仪器/设备编号：	
制造单位：		出厂编号：		
温度：	℃	湿度：	%RH	
校准用标准仪器	型号	测量范围	不确定度/准确度	有效期至
校准依据				
一、输出电流有效值：				
工位	示值(A)	测量值(mV)	变比(A/V)	实际值(A)
二、谐波失真：				
1	2	3	4	5
三、稳定性：				
I_{max}		I_{min}		G

校准员：_____ 年 月 日

核验员：_____ 年 月 日

附录 C 校准证书内页格式（第 2 页）

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准机构授权说明				
校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 它		
校准所依据的技术文件（代号、名称）：				
校准所使用的主要测量标准：				
名 称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	检定/校准证 书编号	证书有效期至

注：

1. XXXXXX 仅对加盖“XXXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对所校准的对象有效。
3. 未经实验室书面批准，不得部分复印证书。

第 X 页 共 X 页

附录 D 校准证书校准结果页格式 (第 3 页)

D.1 校准证书第 3 页 (瞬时试验台)

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准结果

一、输出电流有效值:				
工位	示值 (A)	实际值 (A)	示值误差 (A)	不确定度 U_{rel} ($k=2$)
二、电流持续时间:				
工位	示值	实测值	示值误差	不确定度 U_{rel} ($k=2$)
三、第一周期正负半波面积差:				
第一周期正负半波面积差				
四、峰值系数偏离值				
峰值系数偏离值				
校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF1059 的要求。				
敬告:				
1. 被校准仪器修理后, 应立即进行校准。				
2. 在使用过程中, 如对被校准仪器的技术指标产生怀疑, 请重新校准。				
3. 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。				

校准员:

核验员:

D.2 校准证书第3页（延时试验台）

证书编号 XXXXXX-XXXX

检 定 结 果

一、输出电流有效值：				
工位	示值 (A)	实际值(A)	示值误差 (A)	不确定度 U_{rel} ($k=2$)
二、谐波失真：				
谐波失真				
三、稳定性：				
稳定性				
校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF1059 的要求。				
敬告： 1. 被校准仪器修理后，应立即进行校准。 2. 在使用过程中，如对被校准仪器的技术指标产生怀疑，请重新校准。 3. 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。				

校准员：

核验员：

第 X 页 共 X 页