



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—XXXX

多点接地故障查找仪校准规范

Calibration Specification of Instruments for Locating Multiple Ground

Faults

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

多点接地故障查找仪校准 规范

Calibration Specification of Instruments for
Locating Multiple Ground Faults

JJF(电子) XXXX—XXXX

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：中航长城计量测试（南京）有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范起草人：

吴融会（中航长城计量测试（南京）有限公司）
宋 扬（中航长城计量测试（南京）有限公司）
韩 倩（中航长城计量测试（南京）有限公司）

参加起草人：

伍 源（中航长城计量测试（南京）有限公司）

目 录

引 言.....	VI
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 概述.....	1
4 计量特性.....	2
4.1 直流电流源.....	2
4.2 直流钳形电流探头.....	2
4.3 交流钳形电流探头.....	2
5 校准条件.....	2
5.1 环境条件.....	2
5.2 测量标准及其他设备.....	2
6 校准项目和校准方法.....	3
6.1 校准项目.....	3
6.2 校准方法.....	3
7 校准结果表达.....	5
8 复校时间间隔.....	5
附录 A.....	7
附录 B.....	8
附录 C.....	9

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》及 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。

多点接地故障查找仪校准规范

1 范围

本校准规范适用于无需直流系统供电的多点接地故障查找仪、二次回路接地故障分析仪及一点接地查找仪的校准，其他具有相同原理和测试功能的接地故障查找仪可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF1075-2015 钳形电流表校准规范

JJF 1638-2017 多功能标准源校准规范

JJG (军工) 69-2017 直流标准电流源检定规程

JJG(冀)3007-2019 钳形泄漏电流表检定规程

注：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 概述

多点接地故障查找仪是用来查找判断电压互感器（PT）二次回路中 N 线网络是否存在多点接地的设备。多点接地故障查找仪的工作原理主要分为两类：直流电流注入法及特征信号法。直流注入法是由直流电流源注入待测回路，钳形电流探头在可疑回路的待测点进行测量，经过滤波、信号放大、信号处理、信号计算最后判断是否存在接地故障，其工作原理如图 1，需对其直流电流源及直流钳形电流探头进行校准；特征信号法是由磁感应方式在回路中加入特征信号，再在测量点用钳形电流探头对特征信号进行测量，最后判断多点接地故障的地点，其工作原理图如图 2，需对其交流钳形电流探头进行校准。

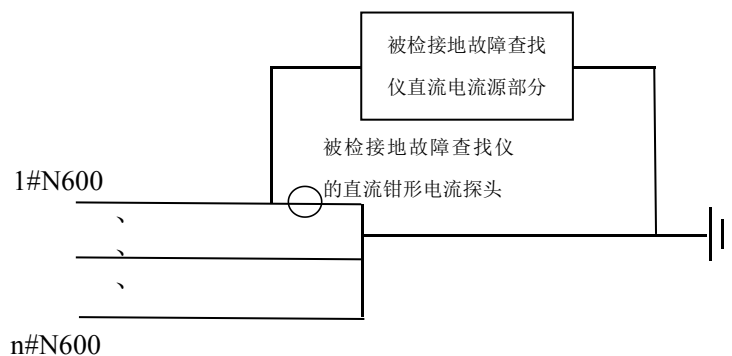


图 1 直流电流注入法原理图

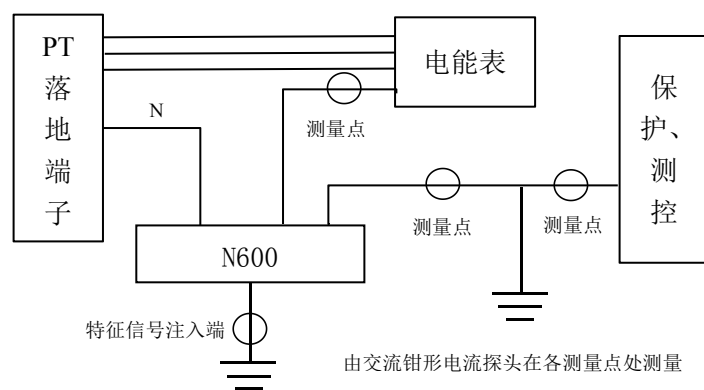


图 2 特征信号法原理图

4 计量特性

4.1 直流电流源

电流输出范围： 0.1 mA~200 mA

最大允许误差： $\pm 1\%FS$

4.2 直流钳形电流探头

电流测量范围： 0.1mA~5 A

最大允许误差： $\pm 1\%$

4.3 交流钳形电流探头

电流测量范围： 1 mA~1000 mA（50 Hz~250 Hz）

最大允许误差： $\pm 5\%$

注：以上技术指标不作合格性判别，仅提供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：15℃~35℃。

5.1.2 相对湿度：20%~80%。

5.1.3 供电电源：

交流供电电压：220 V \pm 22 V；

直流供电电压：4.5 V~14 V

5.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

5.2 测量标准及其他设备

5.2.1 直流数字电流表

电流测量范围：0.1 mA~200 mA；

最大允许误差： $\pm 0.1\%$ 。

5.2.2 直流标准电流源

电流输出范围：0.1 mA～5 A；

最大允许误差：±0.1%。

5.2.3 交流标准电流源

电流输出范围：1 mA～1000 mA（50 Hz～250 Hz）；

最大允许误差：±0.1%。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表 1：

表 1 多点接地故障查找仪校准项目一览表

序号	项目名称
1	外观及工作正常性检查
2	直流电流源
3	直流钳形电流探头
4	交流钳形电流探头

注：应根据被校多点接地故障查找仪的功能选择校准项目。

6.2 校准方法

6.2.1 外观及工作正常性检查

a) 仪器名称、型号、制造商、出厂编号、输出输入标志信息齐全，接线端子、开关、按键、拨盘功能正常，无松动、损伤、脱落。

b) 通电后，开关、按键、显示屏和各种状态指示灯（标志）应工作正常。

c) 进行校准前，被校仪器及测量标准应按规定至少预热半个小时以上，或按说明书规定时间预热。

6.2.2 直流电流源

如果直流电流源非连续可调，则每个输出点都应进行校准；如果直流电流源连续可调，则在每个量程选取 2~3 个校准点，选取的点应覆盖量程的 10%点和量程（接近量程）点。

连接如图 3 所示。

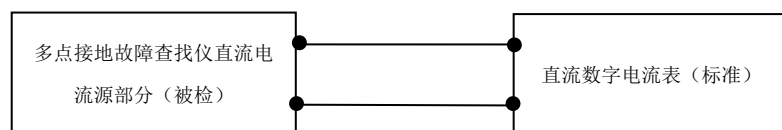


图 3 多点接地故障查找仪直流电流源部分校准示意图

用直流数字电流表测量多点接地故障查找仪中直流电流源的输出电流值,其测量结果实测值为 I_s ,被校直流电流源的输出电流示值为 I_x ,则被校直流电流源的直流电流示值引用误差用公式(1)表示:

$$\gamma = \frac{I_x - I_s}{I_N} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

γ ——引用误差, %;

I_x ——被校直流电流源电流标称值, mA;

I_s ——直流数字电流表的测量结果实测值, mA;

I_N ——被校直流电流源电流量程, mA。

6.2.3 直流钳形电流探头

在每个量程选取 2~3 个校准点,选取的点应覆盖量程的 10%点和量程(接近量程)点。

具有多个通道钳形电流探头通道的多点接地故障查找仪需要对每个通道都进行校准。

连接如图 4 所示。

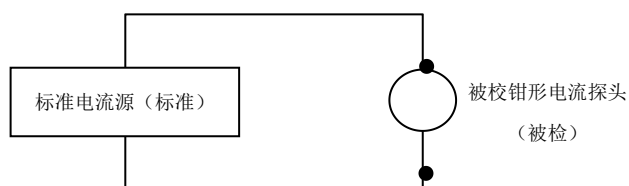


图 4 钳形电流探头校准示意图

将被测单匝导线置于钳口近似几何中心位置或标志位置,调节直流标准电流源,使直流标准电流源输出已选定的校准点 I_1 ,并记录直流钳形电流探头测量的电流值,每个校准点重复测量 2 次,取 2 次的平均值作为测量结果 I ,则直流电流示值相对误差按公式(2)计算:

$$\gamma = \frac{I - I_1}{I_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

γ ——相对误差, %;

I ——被校直流钳形电流探头显示值, mA;

I_1 ——直流标准电流源输出电流标准值, mA。

6.2.4 交流钳形电流探头

根据被检交流钳形电流探头规定的基波频率和谐波次数,在每个频率下选取 2~3 个校准点,选取的点应覆盖量程的 10%点和量程(接近量程)点。

具有多个通道交流钳形电流探头通道的多点接地故障查找仪需要对每个通道都进行校准。

连接如图 4 所示。

将被测单匝导线置于钳口近似几何中心位置或标志位置，调节交流标准电流源，使交流标准电流源输出已选定的校准点 I_2 ，并记录交流钳形电流探头测量的电流值，每个校准点重复测量 2 次，取 2 次的平均值作为测量结果 I ，则交流电流示值相对误差按公式 (3) 计算：

$$\gamma = \frac{I - I_2}{I_2} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

γ ——相对误差，%；

I ——被校交流钳形电流探头显示值，mA；

I_2 ——交流标准电流源输出电流标准值，mA。

7 校准结果表达

校准结束后应出具校准证书。校准证书至少包含以下信息：

- 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) 证书的唯一性标识（如编号），每页和总页数的标识；
- 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) 如果与校准结果有效性应用有关时，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。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔一般不超过 12 个月。送校单位可根据实际使用情况自主决定复

校时间间隔。经修理或调整后的多点接地故障查找仪应校准后再使用。

附录 A

原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

A.2 直流电流源

表 A.2 直流电流源

量程/mA	标称值/mA	实测值/mA	误差	不确定度 ($k=2$)

A.3 直流钳形电流探头

表 A.3 直流钳形电流探头

量程 /mA	标准值 /mA	显示值/mA		平均值 /mA	误差	不确定度 ($k=2$)
		1 次	2 次			

A.4 交流钳形电流探头

表 A.4 交流钳形电流探头

量程 /mA	频率 /Hz	标准值 /mA	显示值/mA		平均值 /mA	误差	不确定度 ($k=2$)
			1 次	2 次			

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

B.2 直流电流源

表 B.2 直流电流源

量程/mA	标称值/mA	实测值/mA	误差	不确定度 ($k=2$)

B.3 直流钳形电流探头

表 B.3 直流钳形电流探头

量程 /mA	标准值 /mA	显示值/mA		平均值 /mA	误差	不确定度 ($k=2$)
		1 次	2 次			

B.4 交流钳形电流探头

表 B.4 交流钳形电流探头

量程 /mA	频率 /Hz	标准值 /mA	显示值/mA		平均值 /mA	误差	不确定度 ($k=2$)
			1 次	2 次			

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 直流电流源电流测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

用直流数字电流表测量直流电流的测量模型为：

$$I_N = I_x \quad (\text{C.1})$$

式中：

I_N ——直流电流标称值，mA；

I_x ——直流电流实测值，mA。

C.1.2 不确定度来源见表 C.1

表 C.1 不确定度来源

分类	不确定度分量来源
A 类	测量结果重复性引入的不确定度 u_1
B 类	直流数字电流表允差引入的不确定度 u_2
B 类	直流数字电流表分辨力引入的不确定度 u_3

C.1.3 标准不确定度评定

C.1.3.1 测量结果重复性引入的标准不确定度 u_1

用数字多用表对被测电流 10 mA 测量点连续测量 10 次，测量结果见下表 C.2 所示

表 C.2 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值/mA	10.03	10.03	10.04	10.04	10.04
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测量值/ mA	10.04	10.03	10.04	10.05	10.05

根据表中的数据，可由贝塞尔公式计算出直流电流的实验标准偏差：

$$u_1 = s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} = 0.00738 \text{ mA} \quad (\text{C.2})$$

C.1.3.2 直流数字电流表允差引入的不确定度 u_2

对于直流电流 10 mA 点，数字多用表的最大允许误差为 $\pm(0.05\% \text{ 读数} + 0.02\% \text{ 量程}) = \pm 0.007 \text{ mA}$ 。按均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{0.007 \text{ mA}}{\sqrt{3}} = 0.00404 \text{ mA} \quad (\text{C.3})$$

C.1.3.3 直流数字电流表分辨力引入的不确定度 u_3

对于直流电流 10mA 点, 数字多用表的分辨力为 0.00001mA。按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_3 = \frac{0.00001\text{mA}}{2\sqrt{3}} = 0.0000029 \text{ mA} \quad (\text{C.4})$$

由分辨力引入不确定度分量与测量结果重复性引入的不确定度分量有重复, 根据“不重复、不遗漏”的原则, 且 $u_3 < u_1$, 故不考虑分辨力引入的不确定度分量 u_3 。

C.1.4 合成不确定度

不确定度汇总表见表 C.3。

表 C.3 直流电流不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_1	测量重复性	A 类	/	1	0.00738mA
u_2	直流数字电流表最大允许误差	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.00404mA

各不确定度分量相互独立不相关, 则合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.00841 \text{ mA} \quad (\text{C.5})$$

C.1.5 相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.00841 \text{ mA} = 0.0168 \text{ mA} \quad (\text{C.6})$$

则相对扩展不确定度为:

$$U_r = \frac{0.0168 \text{ mA}}{10 \text{ mA}} \times 100\% = 0.168\% \approx 0.2\% \quad (\text{C.7})$$

C.2 钳形电流探头直流电流测量结果不确定度评定

C.2.1 测量模型

用直流标准电流源测量钳形电流探头直流电流的测量模型为:

$$I_N = I_x \quad (\text{C.8})$$

式中:

I_N ——直流电流显示值, mA;

I_x ——直流电流标准值, mA。

C.2.2 不确定度来源见表 C.4

表 C.4 不确定度来源

分类	不确定度分量来源
A 类	测量结果重复性引入的不确定度 u_1
B 类	直流标准电流源允差引入的不确定度 u_2
B 类	多点接地故障查找仪分辨力引入的不确定度 u_3

C.2.3 标准不确定度评定

C.2.3.1 测量结果重复性引入的标准不确定度 u_1

用直流标准电流源对被测钳形电流探头直流电流 100mA 点连续测量 10 次, 测量结果见下表 C.5 所示

表 C.5 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值/mA	100.1	100.1	100.0	100.0	100.0
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测量值/mA	100.0	100.1	100.1	100.0	100.0

根据表中的数据, 可由贝塞尔公式计算出钳形电流探头直流电流的实验标准偏差:

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0.0365 \text{ mA} \quad (\text{C.9})$$

C.2.3.2 直流标准电流源允差引入的不确定度 u_2

对于电流 100 mA 点, 直流标准电流源的最大允许误差为 $\pm (0.01\% \times \text{读数} + 2.5 \mu\text{A}) = \pm 0.0125 \text{ mA}$ 。按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_2 = \frac{0.0125 \text{ mA}}{\sqrt{3}} = 0.00722 \text{ mA} \quad (\text{C.10})$$

C.2.3.3 多点接地故障查找仪分辨力引入的不确定度 u_3

对于直流电流 100 mA 点, 多点接地故障查找仪的分辨力为 0.1 mA。按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_3 = \frac{0.1 \text{ mA}}{2\sqrt{3}} = 0.029 \text{ mA} \quad (\text{C.11})$$

由分辨力引入不确定度分量与测量结果重复性引入的不确定度分量有重复, 根据“不重复、不遗漏”的原则, 且 $u_3 < u_1$, 故不考虑分辨力引入的不确定度分量 u_3 。

C.2.4 合成不确定度

不确定度汇总表见表 C.6。

表 C.6 钳形电流探头直流电流不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_1	测量重复性	A 类	/	1	0.0365 mA
u_2	直流标准电流源允差引入的不确定度	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.00722mA

各不确定度分量相互独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.0372 \text{ mA} \quad (\text{C.12})$$

C.2.5 相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.0372 \text{ mA} = 0.0744 \text{ mA} \quad (\text{C.13})$$

则相对扩展不确定度为：

$$U_r = \frac{0.0744 \text{ mA}}{100 \text{ mA}} \times 100\% \approx 0.1\% \quad (\text{C.14})$$

C.3 钳形电流探头交流电流测量结果不确定度评定

C.3.1 测量模型

用交流标准电流源测量钳形电流探头交流电流的测量模型为：

$$I_N = I_x \quad (\text{C.15})$$

式中：

I_N ——交流电流显示值，mA；

I_x ——交流电流标准值，mA。

C.3.2 不确定度来源见表 C.7

表 C.7 不确定度来源

分类	不确定度分量来源
A 类	测量结果重复性引入的不确定度 u_1
B 类	交流标准电流源允差引入的不确定度 u_2
B 类	多点接地故障查找仪分辨力引入的不确定度 u_3

C.3.3 标准不确定度评定

C.3.3.1 测量结果重复性引入的标准不确定度 u_1

用交流标准电流源对被测钳形电流探头交流电流 100mA/50Hz 点连续测量 10 次，测量结果见下表 C.8 所示

表 C.8 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值/mA	100.3	100.3	100.3	100.4	100.4

第 <i>i</i> 次测量	6	7	8	9	10
测量值/mA	100.4	100.4	100.3	100.4	100.2

根据表中的数据，可由贝塞尔公式计算出钳形电流探头交流电流的实验标准偏差：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0.0494 \text{ mA} \quad (\text{C.16})$$

C.3.3.2 交流标准电流源允差引入的不确定度 u_2

对于电流 100 mA/50Hz 点，交流标准电流源的最大允许误差为 $\pm (0.04\% \times \text{读数} + 20 \mu\text{A}) = \pm 0.06 \text{ mA}$ 。按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{0.06 \text{ mA}}{\sqrt{3}} = 0.0346 \text{ mA} \quad (\text{C.17})$$

C.3.3.3 多点接地故障查找仪分辨力引入的不确定度 u_3

对于交流电流 100 mA 点，多点接地故障查找仪的分辨力为 0.1 mA。按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_3 = \frac{0.1 \text{ mA}}{2\sqrt{3}} = 0.029 \text{ mA} \quad (\text{C.18})$$

由分辨力引入不确定度分量与测量结果重复性引入的不确定度分量有重复，根据“不重复、不遗漏”的原则，且 $u_3 < u_1$ ，故不考虑分辨力引入的不确定度分量 u_3 。

C.3.4 合成不确定度

不确定度汇总表见表 C.9。

表 C.9 钳形电流探头交流电流不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	<i>k</i> 值	标准不确定度
u_1	测量重复性	A 类	/	1	0.0494 mA
u_2	交流标准电流源允差引入的不确定度	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0346 mA

各不确定度分量相互独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.0603 \text{ mA} \quad (\text{C.19})$$

C.3.5 相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.0603 \text{ mA} = 0.121 \text{ mA} \quad (\text{C.20})$$

则相对扩展不确定度为：

$$U_r = \frac{0.121 \text{ mA}}{100 \text{ mA}} \times 100\% \approx 0.2\% \quad (\text{C.21})$$